

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

І. М. Іваненко

Конструкційні матеріали у виробництвах неорганічних речовин

*Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»,
спеціалізацією «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2018

Рецензенти: *Пірський Ю.К.*, докт. хім. наук, проф., пров. наук. співр.
Патриляк Л.К., докт. хім. наук, проф., пров. наук. співр.
Відповідальний редактор *Крimeць Г.В.*, канд. тех. наук, асист.

Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 11 від 10.01.2018 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Іваненко Ірина Миколаївна, канд. хім. наук, доц.

Конструкційні матеріали У виробництвах неорганічних речовин

Конструкційні матеріали у виробництвах неорганічних речовин [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / І. М. Іваненко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,80 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 242 с.

© І. М. Іваненко 2018
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

Анотація

Підручник призначений для студентів бакалаврів спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія, спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» денної форми навчання. Підручник містить п'ять розділів. Перший розділ присвячений основам матеріалознавства, а саме фазовому стану речовин, основним властивостям та класифікації матеріалів. В другому розділі викладено інформацію щодо конструкційних матеріалів, які застосовуються у виробництві неорганічних речовин, в тому числі метали і сплави, сталі, чавуни, кольорові метали та їх сплави. В третьому розділі висвітлюються основні положення корозії металів і сплавів: електрохімічна, хімічна корозія; суцільна та локальна корозія, корозійна стійкість металів і сплавів, способи захисту апаратів від корозії. Неметалічні конструкційні матеріали представлені в четвертому розділі, а саме неорганічні неметалічні та полімерні матеріали, пластичні маси, силікати, склокристалічні матеріали. Тематика практичних занять викладені в п'ятому розділі; вона включає макроскопічний аналіз металів та сплавів, діаграми стану подвійних систем, діаграма стану системи залізо – вуглець, сталі та білі чавуни, сірі, ковкі та високоміцні чавуни, а також термічну обробку сталі.

ЗМІСТ

Зміст.....	5
ВСТУП	7
1. Основи матеріалознавства.....	9
1.1. Структура матеріалів	9
1.1.1. Фазовий стан речовини.....	13
1.1.2. Газ і рідина.....	14
1.1.3. Тверде тіло	15
1.2. Основні властивості матеріалів	17
1.3. Класифікація матеріалів	20
Питання для самоконтролю	25
2. Конструкційні матеріали, що застосовуються у виробництві неорганічних речовин	27
2.1. Метали і сплави	27
2.2. Сталі.....	38
2.2.1. Вуглецеві сталі	43
2.3. Чавуни	52
2.4. Кольорові метали та сплави	60
2.4.1. Алюміній та його сплави	61
2.4.2. Мідь та її сплави.....	65
2.4.3. Титан та його сплави.....	69
2.4.4. Магній та його сплави	71
Питання для самоконтролю	73
3. КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	79
3.1. Електрохімічна корозія.....	79
3.2. Хімічна корозія.....	82
3.3. Суцільна і локальна корозія	86
3.4. Корозійна стійкість металів і сплавів.....	88
3.5. Способи захисту апаратів від корозії	91
3.5.1. Плівкові захисні покриття	91
3.5.2. Листове покриття	96
3.5.3. Футерування апаратів штучними кислототривкими виробами.....	97
3.5.4. Методи катодного захисту і інгібування	100

Питання для самоконтролю	103
4. НЕМЕТАЛІЧНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ВИРОБНИЦТВІ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН	106
4.1. Неорганічні неметалічні матеріали	106
4.2. Полімерні матеріали	109
4.3. Пластичні маси	122
4.4. Силікати	139
4.5. Склокристалічні матеріали.....	152
4.6. Композиційні матеріали	157
4.7. Технічна кераміка.....	164
Питання для самоконтролю	173
5. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	175
5.1. Тема: Макроскопічний аналіз металів та сплавів	175
5.1.1. Короткі теоретичні відомості.....	175
5.2. Тема: Діаграми стану подвійних систем.....	184
5.2.1. Короткі теоретичні відомості.....	184
5.3. Тема: Діаграма стану системи залізо – вуглець	193
5.3.1. Короткі теоретичні відомості.....	193
5.4. Тема: Сталі та білі чавуни	197
5.4.1. Короткі теоретичні відомості.....	197
5.5. Тема: Сірі, ковкі та високоміцні чавуни	203
5.5.1. Короткі теоретичні відомості.....	203
5.6. Тема: Термічна обробка сталі	208
5.6.1. Короткі теоретичні відомості.....	208
5.7. Тема: Структури сталей після термічної та хіміко-термічної обробки	219
5.7.1. Короткі теоретичні відомості.....	219
5.8. Тема: Антифрикційні сплави	224
5.8.1. Короткі теоретичні відомості.....	224
5.9. Тема: Сплави на основі міді	229
5.9.1. Короткі теоретичні відомості.....	229
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	237

ВСТУП

Кредитний модуль «Конструкційні матеріали у виробництвах неорганічних речовин» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, займає важливе місце у формуванні світогляду сучасного фахівця з технології неорганічних речовин і є базисним для профільюючих дисциплін у навчальному плані підготовки спеціалістів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення».

Матеріал оснований на знаннях таких дисциплін, як фізика, загальна та неорганічна хімія, а також закладає підґрунтя для подальшого вивчення профільюючих дисциплін: хімічна технологія неорганічних речовин, технологія мінеральних кислот і солей; технологія зв'язаного азоту і хімічних добрив, устаткування галузі та основи проектування.

За свою мету має вивчення теоретичних основ матеріалознавства на основі загальних зв'язків внутрішньої будови матеріалу і його властивостей. Це дає змогу визначити галузі застосування нових (і розширення традиційних) конструкційних матеріалів із заданими властивостями, зокрема у виробництві неорганічних речовин.

Після вивчення матеріалу кредитного модулю студенти повинні знати основні властивості та умови роботи традиційних й новітніх конструкційних матеріалів, уміти на практиці підбирати та раціонально використовувати традиційні та нові конструкційні матеріали.

Завдання під час вивчення її дисципліни:

- ознайомити із природою конструкційних матеріалів, законами, за якими змінюється їх будова і властивості залежно від складу, а також хімічного, механічного та інших видів впливу;
- засвоїти взаємозв'язок між хімічним складом, внутрішньою будовою та фізико-хімічними властивостями основних конструкційних

матеріалів, які використовують у хімічній промисловості;

- навчити обирати конструкційні матеріали для виробничих цілей, базуючись на їх фізичних, хімічних, механічних та технологічних властивостях;

- навчити розрізняти види корозії, оцінювати корозійну стійкість металів і сплавів, а також способи їх захисту від корозії.

1. ОСНОВИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

1.1. Структура матеріалів

Технічне значення матеріалів залежить від будови і виражається в їх властивостях. Будову матеріалів характеризує структура – сукупність стійких зв'язків матеріалу, що забезпечує його цілісність і збереження основних властивостей при зовнішніх і внутрішніх змінах. Структура матеріалів визначається безліччю факторів: будовою атомів, іонів, молекул, розподілом у них електронів, типом зв'язків між частками тощо. У матеріалознавстві прийнято розглядати три рівні будови матеріалів: атом – молекула – фаза.

Усяка речовина не є чимось суцільним, а складається з окремих дуже маленьких часток. Відмінності між речовинами зумовлені відмінністю між їх частками; частинки однієї речовини однакові, частинки різних речовин різні. За всіх умов частинки речовини знаходяться в русі; чим вище температура тіла, тим інтенсивніший цей рух. Для більшості речовин частинки являють собою молекули. Молекули в свою чергу, складаються з атомів. Молекула – найменша частка речовини, що володіє його хімічними властивостями. Атом – найменша частка хімічного елемента, що володіє його хімічними властивостями. До складу молекули може входити різне число атомів. При цьому атоми можуть з'єднуватися один з одним не тільки в різних співвідношеннях, але й різним чином. Тому при порівняно невеликому числі хімічних елементів число різних речовин дуже велике. Атом, вступивши у взаємодію з атомами іншої простої речовини, порушує свою стабільну будова і втрачає хімічні властивості вихідної простої речовини. Він утворює з іншими атомами

молекулу нової хімічної речовини з новим комплексом хімічних та фізичних властивостей. Молекули складних речовин складаються з різних атомів, що вступили в хімічну взаємодію. Молекули міцних речовин складаються з однакових атомів і також взаємодіють між собою. Не у всіх випадках частинки, що утворюють речовину, представляють собою молекули. Багато речовин у твердому і рідкому стані, наприклад, більшість солей, мають не молекулярну, а іонну структуру. Багато простих речовин мають атомну будову, тобто складаються не з молекул, а з атомів.

До таких простих речовин відносяться інертні гази і метали. У речовинах, що мають іонну або атомну будову, носієм хімічних властивостей є не молекули, а ті комбінації іонів і атомів, які утворює дана речовина. До утворення стійких багатоатомних систем (молекул, молекулярних іонів, кристалів) призводить хімічний зв'язок між атомами, який може виникати при їх взаємодії. Атом являє собою складну систему з негативно заряджених електронів і позитивно зарядженого ядра. Завдяки взаємодії електричних полів, які створюються електронами і ядрами атомів, що беруть участь в утворенні молекули або кристала, виникає хімічний зв'язок [1; 2].

Ковалентний хімічний зв'язок утворюється двома електронами, причому ця електронна пара належить двом атомам. Утворення хімічного зв'язку між атомами є результатом взаємопроникнення («перекривання») електронних хмар, яке відбувається при зближенні взаємодіючих атомів. Внаслідок такого взаємопроникнення щільність негативного електричного заряду в між'ядерному просторі зростає. Позитивно заряджені ядра атомів притягуються до області перекривання електронних хмар, що і призводить до утворення стійкої молекули. Ковалентний зв'язок тим міцніше, чим більшою мірою перекриваються електронні хмари. Якщо двохатомна молекула складається з атомів одного і того ж елемента, як, наприклад,

молекули H_2 , Cl_2 тощо, то кожна електронна хмара, що утворена спільною парою електронів і здійснює ковалентний зв'язок, розподіляється в просторі симетрично щодо ядер обох атомів. У подібному випадку ковалентний зв'язок називається неполярним. Якщо двохатомна молекула складається з атомів різних елементів, то загальна електронна хмара зміщена у бік одного з атомів, так що виникає асиметрія в розподілі заряду. У таких випадках ковалентний зв'язок називається полярним. Наприклад, в молекулі HCl загальна електронна пара зміщена в бік атома хлору. Отже, молекула хлористого водню є полярною молекулою.

Полярність молекул має вплив на властивості утворених ними речовин. Речовини, що утворені полярними молекулами, володіють, як правило, більш високими температурами плавлення і кипіння, ніж речовини, молекули яких неполярні.

Іонний зв'язок здійснюється в результаті взаємного електростатичного притягнення протилежно заряджених іонів. Під час хімічних реакцій атоми приєднують електрони атомів інших елементів або віддають електрони іншим атомам. Атоми, які віддали частину електронів, набувають позитивний заряд і стають позитивно зарядженими іонами. Атоми, що приєднали електрони, перетворюються в негативно заряджені іони. Різнорізно заряджені іони утримуються один біля одного силами електростатичного притягнення.

Електричне поле іона має сферичну симетрію і однаково убиває з відстанню в будь-якому напрямку. Тому два різнорізних іона, притягнувшись один до одного, зберігають здатність електростатично взаємодіяти з іншими іонами. Даний іон може координувати навколо себе ще деяке число іонів протилежного знака. Іонні молекули здатні з'єднуватися один з одним. Так, кристал хлориду натрію представляє собою поєднання величезної кількості іонів Na^+ і Cl^- , певним чином

орієнтованих відносно один одного.

Речовини з іонним зв'язком у молекулі характеризуються високими температурами плавлення і кипіння, в розплавленому стані та в розчинах вони дисоціюють на іони, внаслідок чого проводять електричний струм.

Металічний зв'язок – це зв'язок, в якому електрони кожного окремого атома належать усім атомам, що перебувають у контакті. При цьому валентні електрони здатні вільно переміщатися в об'ємі кристала. Металічний зв'язок характерний для металів, їхніх сплавів та інтерметалічних сполук. Металевий стан виникає в комплексі атомів, коли при їх зближенні зовнішні електрони втрачають зв'язок з окремими атомами, стають загальними, тобто колективізуються і вільно переміщуються між позитивно зарядженими періодично розташованими іонами. Стійкість металу, що представляє собою, таким чином, іонно-електронну систему визначається електричним притягненням між позитивно зарядженими іонами і узагальненими електронами. Така взаємодія між іонним скелетом і електронним газом отримала назву металічного зв'язку. Сила зв'язку в металах визначається силами відштовхування і силами притягнення між іонами і електронами і не має різко вираженого спрямованого характеру. Атоми в металі розташовуються закономірно, утворюючи правильну кристалічну ґратку, що відповідає мінімальній енергії взаємодії атомів.

Специфічними властивостями металевого зв'язку пояснюються характерні властивості металів. Висока електропровідність металів пояснюється присутністю в них вільних електронів, які переміщуються в потенційному полі ґратки. З підвищенням температури посилюються коливання іонів (атомів), що ускладнює рух електронів, в результаті чого електроопір зростає. При низьких температурах коливальний рух іонів (атомів) сильно зменшується і електропровідність зростає.

Висока пластичність металів пояснюється періодичністю їх атомної структури і відсутністю спрямованості металевого зв'язку. При механічній дії на тверде тіло окремі шари кристалічної решітки зміщуються відносно один одного. У кристалах з атомною структурою це призводить до розриву ковалентних зв'язків між атомами, що належать різним шарам, і кристал руйнується. У кристалах з іонною структурою при взаємному зміщенні шарів неминуче створюється таке положення, при якому поряд виявляються однойменно заряджені іони; при цьому виникають сили електростатичного відштовхування, і кристал також руйнується. У разі ж металу при зміщенні окремих шарів його кристалічної ґратки відбувається лише певний перерозподіл електронного газу, що зв'язує атоми металу одне з одним, але розриву хімічних зв'язків не відбувається – метал деформується, не руйнуючись [1; 2].

1.1.1. Фазовий стан речовини

Досліджувану речовину або сукупність речовин прийнято називати системою. При цьому системі протиставляється зовнішнє середовище – речовини, що оточують систему. Стан системи, в якій вона самочинно приходить через досить великий проміжок часу при незмінних зовнішніх умовах, називають рівноважним. Розрізняють системи гомогенні, які складаються з однієї фази, та гетерогенні, які складаються з декількох фаз.

Фазою називається частина системи, що відокремлена від інших її частин поверхнею розділу, при переході через яку властивості змінюються стрибком. Фазою називають однорідні складові частини системи, що мають однаковий склад, один і той же агрегатний стан і відокремлені від решти частин поверхнями розділу. Наприклад, однорідний чистий метал або сплав є однофазною (гомогенною) системою. Стан, коли одночасно

присутні рідкий сплав (метал) і кристали, буде представляти двофазну (гетерогенну) систему. Системою називають сукупність фаз, які перебувають у стані рівноваги. При зміні зовнішніх умов (температури, тиску, напруженості електричного поля та ін.) речовина може переходити з однієї фази в іншу. Такий перехід називають фазовим. До фазових переходів відносяться випаровування і конденсація, плавлення і затвердіння тощо. При фазових переходах стрибкоподібно змінюється ряд фізичних властивостей речовини (щільність, концентрація компонентів та ін.) Залежно від фізичних умов, головним чином від температури і тиску, речовини можуть існувати у твердому, рідкому і газоподібному стані. Ці стани речовини називають агрегатними [2; 3].

1.1.2. Газ і рідина

Газоподібний стан речовини характеризується порівняно малими силами міжмолекулярної взаємодії. Молекули газів знаходяться на великих відстанях один від одного, тому гази мають велику стискальність. Їх молекули знаходяться в постійному хаотичному русі, що пояснює здатність газів рівномірно заповнювати весь наданий об'єм, набуваючи об'єм і форму посудини, в якій вони знаходяться. Температура речовини залежить від кінетичної енергії її молекул, тому, розширюючись, газ охолоджується. При досить сильному стисненні гази перетворюються в рідини. Однак при температурах вище деякої критичної стиснення – зрідження газу за допомогою одного тільки збільшення тиску виявляється неможливим. Тому для зрідження газів використовують ефект охолодження при одночасному розширенні без теплообміну з навколишнім середовищем.

Рідини за своїми властивостями займають проміжне положення між

газами і твердими речовинами. Чим вище температура, тим більше властивості рідин наближаються до властивостей газів, і, навпаки, чим нижче температура, тим більше проявляються ті властивості рідин, які наближають їх до твердих речовин. Рідини зазвичай не мають власної форми, а набувають форму посудини, в якій знаходяться; тільки в дуже невеликих кількостях вони здатні зберігати форму краплі. На відміну від газів рідини при даній температурі займають абсолютно певний об'єм. Це пояснюється наявністю помітних сил взаємного притягнення окремих молекул рідини. Молекули в рідинах розміщуються значно щільніше, ніж у газах, цим і пояснюється дуже мала стисливість всіх рідин. При охолодженні рух молекул рідини сповільнюється, потім вони фіксуються в певних положеннях, а рідина перетворюється на тверде тіло [4; 5].

1.1.3. Тверде тіло

Тверді речовини побудовані з молекул, атомів та іонів, що міцно пов'язані між собою. З цієї причини вони мають певний об'єм і форму. Частинки твердої речовини не можуть вільно переміщуватися, вони зберігають взаємне розташування, здійснюючи коливання близько центрів рівноваги, тому для зміни об'єму і форми твердої речовини потрібне зусилля.

Розрізняють два стани твердих речовин: кристалічний і аморфний.

Кристали кожної кристалічної речовини мають характерну для них форму. Так, кристали хлориду натрію мають форму куба, нітрату калію – призми тощо. У кристалічних речовинах частинки, з яких побудовані кристали, розміщені в просторі в певному порядку і утворюють просторову ґратку. Залежно від характеру частинок, що перебувають у вузлах просторової ґратки, розрізняють молекулярні, атомні, іонні та

металеві ґратки.

У вузлах молекулярної ґратки знаходяться полярні або неполярні молекули, які зв'язані між собою слабкими силами притягнення. Молекулярну ґратку мають більшість органічних речовин, а також ряд неорганічних сполук, наприклад, вода, аміак. Речовини з молекулярними ґратками мають порівняно невисоку температуру плавлення.

Атомна ґратка характеризується тим, що в її вузлах розміщені атоми, які пов'язані між собою спільними електронними парами. Речовини з атомними ґратками (наприклад, алмаз) дуже міцні і мають дуже високу температуру плавлення.

У вузлах іонної ґратки розташовані позитивно і негативно заряджені іони, що чергуються один з одним. Іонні кристалічні ґратки характерні для більшості солей, оксидів і основ.

У вузлах металічної ґратки поряд з нейтральними атомами розміщуються позитивно заряджені іони даного металу. Між ними вільно переміщаються електрони – так званий електронний газ. Така будова металів обумовлює їх загальні властивості: металевий блиск, електро- і теплопровідність, ковкість та ін.

Кристалічна ґратка руйнується при плавленні, випаровуванні або розчиненні речовини.

Аморфні речовини являють собою агрегати безладно розташованих молекул. На відміну від кристалічних речовин, що мають цілком певну температуру плавлення, аморфні речовини плавляться в широкому діапазоні температур. При нагріванні вони поступово розм'якшуються, починають розтікатися і стають рідкими. В залежності від умов, за яких відбувається перехід з розплавленого стану в твердий, одну й ту ж саму речовину можна отримати як в кристалічному, так і в аморфному станах [4-6].

1.2. Основні властивості матеріалів

Механічні властивості матеріалів характеризують можливість їх використання у виробках, що експлуатуються при дії зовнішніх навантажень. Основними показниками властивостей матеріалів є міцність, твердість, триботехнічні характеристики.

Міцність – властивість матеріалів чинити опір руйнуванню та необоротній зміні форми під дією зовнішніх навантажень. Вона обумовлена силами взаємодії часток, з яких складається матеріал.

Якщо при розтягуванні зразка сила зовнішнього впливу на пару атомів перевершує силу їхнього притягнення, то атоми будуть віддалятися один від одного. Напруження, що виникає в матеріалі і яка відповідає силі міжатомного притягнення, відповідає теоретичній міцності.

При виникненні в матеріалі локальної напруги більшої за теоретичну міцність відбудеться розрив матеріалу по цій ділянці. У результаті утворюється тріщина. Зростання тріщин триває, поки в результаті їх злиття одна з тріщин не пошириться на весь переріз зразка і не відбудеться його руйнування.

Деформування – зміна відносного розташування частинок в матеріалі (розтяг, стиск, вигин, крутіння, зсув). Таким чином, деформація – зміна форми і розмірів виробу або його частин у результаті деформування. Деформацію називають пружною, якщо вона зникає після зняття навантаження, або, пластичною (необоротною), якщо вона не зникає.

Динамічна міцність – опір матеріалів динамічним навантаженням, тобто навантаженням, значення, напрямки і точка прикладання яких швидко змінюються в часі.

Втома матеріалів – процес поступового накопичення пошкоджень під дією змінних напруг, що призводять до зміни властивостей матеріалу,

утворення та розростання тріщин. Властивість матеріалів протистояти втомі називається витривалістю. Повзучість – безперервне пластичне деформування матеріалів під дією постійного навантаження. Будь-які тверді матеріали в тій чи іншій мірі схильні до повзучості в усьому діапазоні температур експлуатації. Шкідливі наслідки повзучості матеріалів особливо проявляються при підвищених температурах.

Причиною незадовільної міцності виробів може бути вплив поверхневих дефектів і напружень, які виникають через нерівномірність розподілу навантаження, зумовленого особливостями конструкції. Тому міцність конструкційних елементів (зварювальних швів, болтів, валів і т.д.) – конструкційна міцність – у багатьох випадках нижче технічної міцності вихідних матеріалів.

Твердість є механічною характеристикою матеріалів, що відображає їх міцність, пластичність та властивості поверхневого шару виробу. Вона виражається опором матеріалу пластичному деформуванню, що виникає при впровадженні в матеріал твердого тіла (індентора). Залежно від способу впровадження та властивостей індентора твердість матеріалів оцінюють за різними критеріями, використовуючи декілька методів: вдавлювання індентора; динамічні методи; дряпання.

Вдавлювання індентора в зразок з подальшим вимірюванням відбитка є основним технологічним прийомом при оцінці твердості матеріалів. Залежно від особливостей прикладення навантаження, конструкції індентора та визначення чисел твердості розрізняють методи Брінелля, Роквелла, Віккерса.

Шляхом подряпин порівнюють твердість досліджуваного і еталонного матеріалів. Як еталони прийнято десять мінералів, що розташовані у порядку зростання їх твердості,: 1 – тальк, 2 – гіпс, 3 – кальцит, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 –

корунд, 10 – алмаз.

Триботехнічні характеристики визначають ефективність застосування матеріалів у вузлах тертя. Під триботехнікою розуміють сукупність технічних засобів, що забезпечують оптимальне функціонування вузлів тертя. Основні характеристики триботехнічних матеріалів: зносостійкість, припрацьовуваність, коефіцієнт тертя.

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню при певних умовах тертя. Відношення величини зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник, або до шляху, на якому відбувалося зношування, представляє собою, відповідно, швидкість зношування і інтенсивність зношування. Зносостійкість матеріалів оцінюють величиною, зворотною швидкості та інтенсивності зношування.

Припрацьовуваність – властивість матеріалу зменшувати силу тертя, температуру і інтенсивність зношування в процесі припрацювання. Забезпечення зносостійкості безпосередньо пов'язано з попередженням катастрофічного зношування і припрацювання.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя двох тіл до нормальної сили, що притискує ці тіла один до одного. Його значення залежать від швидкості ковзання, тиску і твердості поверхні матеріалів, що труться.

Триботехнічні характеристики матеріалів залежать від наступних основних груп факторів, що впливають на роботу вузлів тертя:

- внутрішніх, обумовлених природою матеріалів;
- зовнішніх, що характеризують вид тертя (ковзання, качання);
- режиму тертя (швидкість, навантаження, температура);
- середовища і виду мастильного матеріалу.

Сукупність цих факторів обумовлює вид зношування – абразивне, адгезійне, ерозійне, втомлювальне та ін.

Основна причина всіх видів зношування – робота сил тертя, під дією

яких відбувається багаторазове деформування поверхневих шарів тіл, що труться, зміна їх структури тощо [2-4].

1.3. Класифікація матеріалів

Найбільше значення в техніці мають класифікації матеріалів за структурними і функціональними ознаками. Головним критерієм класифікації матеріалів за структурними ознаками є агрегатний стан, в залежності від якого їх поділяють на такі типи: тверді матеріали, рідини, гази, плазма.

Кристалічні матеріали за типом зв'язку між частинками поділяють на: атомні, іонні, металеві та молекулярні.

З атомно-кристалічних матеріалів, в структурі яких переважають ковалентні зв'язки, найбільше значення в техніці мають поліморфні модифікації вуглецю та напівпровідникові матеріали на основі елементів IV групи періодичної системи елементів. Типовими представниками перших є алмаз – найбільший твердий мінерал (твердість 10 за мінералогічною шкалою) і графіт – найбільш поширена в земній корі і стійка модифікація вуглецю з шаруватою структурою. Напівпровідникові кристалічний германій і кремній є основними матеріалами напівпровідникової електроніки.

У велику сукупність іонно-кристалічних матеріалів, що мають кристалічну структуру з іонним типом зв'язку, входять оксиди металів, які є складовими найважливіших руд; технологічних присадок при плавці металів; виробів, що формуються методами порошкової металургії тощо; а також бориди, карбіди, нітриди, які використовують як компоненти твердих сплавів. Властивостями металевих кристалів володіють більше 80 хімічних елементів і безліч сплавів.

Структура молекулярних кристалів характерна для багатьох полімерних матеріалів, молекули яких складаються з великого числа повторюваних ланок. Це біополімери – високомолекулярні природні сполуки та їх похідні (у тому числі деревина); синтетичні полімери, одержувані з простих органічних сполук, молекули яких мають неорганічні головні ланцюги і не містять органічних бічних груп. До числа неорганічних полімерів відносять силікати та в'яжучі. Природні силікати – клас найважливіших пороодоутворюючих мінералів, що становлять близько 80 % маси земної кори. До неорганічних в'яжучих матеріалів відносяться цемент, гіпс, вапно та ін. Молекулярні кристали інертних газів – елементів VIII групи періодичної системи – випаровуються при низьких температурах, не переходячи в рідкий стан. Вони знаходять застосування в кріоелектроніці, що займається створенням електронних приладів на основі явищ, які мають місце у твердих тілах при кріогенних температурах.

Некристалічні тверді матеріали поділяють за ознакою впорядкованості і стабільності структури на аморфні, скловидні і напіввпорядковані не скловидні.

Типовими представниками аморфних матеріалів є аморфні напівпровідники, аморфні метали та сплави.

До групи склоподібних матеріалів входять: ряд органічних полімерів (поліметилакрілат при температурах нижче 105 °С, полівінілхлорид – нижче 82 °С і інші); багато неорганічних матеріалів – неорганічне скло на основі оксидів кремнію, бору, алюмінію, фосфору тощо; багато матеріалів для кам'яного лиття – базальти і діабазы зі склоподібною структурою, металургійні шлаки, природні карбонати з острівної і ланцюжковою структурою (доломіт, мергель, мармур та ін.)

У напіввпорядкованому не склоподібному стані знаходяться у

вигляді студню (структуровані системи полімер–розчинник, що утворюються при затвердінні розчинів полімерів або набуханні твердих полімерів), багато синтетичних полімерів у високоеластичному стані, каучуки та гуми; більшість матеріалів на основі біополімерів, в тому числі текстильні і шкіряні матеріали, а також органічні в'язучі матеріали – бітуми, дьогті та ін.

Обмеженість розглянутої класифікації полягає в тому, що технічні матеріали, як правило, неоднорідні за структурою і включають декілька фаз. Приналежність матеріалу до тієї чи іншої структурної групи залежить від переважання в ньому відповідної структури, що, значною мірою, зумовлено складом, технологічної передісторією і іншими індивідуальними ознаками.

Залежно від кількості фаз та масштабу неоднорідностей структури матеріали поділяють на прості, композиційні і сплави. Перші складаються з одного хімічного елемента або сполуки і мають однорідну макроструктуру. Сплав – це матеріал з однорідною макроструктурою, що утворився в результаті затвердіння розплаву хімічно різнорідних речовин. Речовинами, які утворюють сплав, можуть бути метали, неметали, оксиди, органічні сполуки і ін.

Композиційні матеріали (композити) складаються з декількох фаз і мають неоднорідну макроструктуру, наприклад, бетон, графіт з включеннями алмазу тощо).

За призначенням технічні матеріали поділяють на наступні групи.

Конструкційні матеріали – матеріали, призначені для виготовлення виробів, що підлягають механічному навантаженню. Вони володіють комплексом механічних властивостей, що забезпечують необхідну працездатність і ресурс виробів при впливі робочого середовища, температури та інших факторів. Одночасно до них пред'являють

технологічні вимоги, що визначають найменшу трудомісткість виготовлення деталей і конструкцій, і економічні, що стосуються вартості і доступність матеріалу, що дуже важливо в умовах масового виробництва.

Електротехнічні матеріали характеризуються особливими електричними і магнітними параметрами і призначені для виготовлення виробів, які застосовуються при виробництві, передачі, перетворенні і споживанні електроенергії. До них відносяться магнітні матеріали, провідники, напівпровідники, а також діелектрики у твердому, рідкому і газоподібному станах.

Триботехнічні матеріали призначені для застосування у вузлах тертя з метою регулювання параметрів тертя та зношування для забезпечення заданої працездатності та ресурсу цих вузлів. Основними видами таких матеріалів є мастильні, антифрикційні та фрикційні.

Номенклатуру перших утворюють змащення у твердій (графіт, тальк, дисульфід молібдену тощо), в рідкій (мастильні масла) і в газоподібних станах (повітря, пари вуглеводнів та інші гази).

У сукупність антифрикційних матеріалів входять сплави кольорових металів (бабіти, бронзи та ін.), сірий чавун, пластмаси (текстоліт, матеріали на основі фторопластів тощо), металокерамічні композиційні матеріали (бронзографіт, залізографіт та ін.), деякі види деревини і деревинно-шаруватих пластиків, гуми, багато композитів.

Фрикційні матеріали мають великий коефіцієнт тертя та високий опір до зношування. До них відносяться деякі види пластмас, чавунів, металокераміки та інших композиційних матеріалів.

Інструментальні матеріали відрізняються високими показниками твердості, зносостійкості і міцності. Вони призначені для виготовлення ріжучого, вимірювального, слюсарно-монтажного та іншого інструменту. У номенклатуру таких матеріалів входять інструментальна сталь і тверді

сплави, алмаз і деякі види керамічних матеріалів, композиційні матеріали.

Робочі тіла – газоподібні і рідкі матеріали, за допомогою яких енергію перетворюють в механічну роботу, холод, теплоту. Робочими тілами служать водяна пара в парових машинах і турбінах; аміак, вуглекислота, фреон та інші холодоагенти в холодильних машинах; масла в гідроприводі; повітря в пневматичних двигунах; газоподібні продукти згоряння органічного палива в газових турбінах, двигунах внутрішнього згорання тощо. У ракетній техніці робочим тілом прийнято вважати ракетне паливо.

Паливо – горючі матеріали, основною частиною яких є вуглець, що застосовуються з метою отримання при їх спалюванні теплової енергії. За походженням паливо поділяють на природне (нафта, вугілля, природний газ, горючі сланці, торф, деревина) і штучне (кокс, моторні паливо, генераторні гази та ін.) За типом машин, в яких воно спалюється, – на ракетне, моторне, ядерне, турбінне тощо.

Технологічні матеріали – велика група допоміжних матеріалів, що використовуються для нормального протікання технологічних процесів переробки основних технічних матеріалів у виробі або забезпечення нормальної роботи машин. У їх номенклатуру входять клеї та герметики; лакофарбові та в'язучі матеріали; допоміжні матеріали, що застосовуються при зварюванні і пайці (флюси, припої, зварювальні електроди тощо); мастильно-охолоджуючі рідини; гартівні середовища; консервувальні матеріали (мастила, плівки, інгібітори корозії), що забезпечують захист виробів від корозії при їх зберіганні і транспортуванні; антиадгезійні матеріали, що оберігають від приклеювання основних оброблюваних матеріалів до їх технологічного оснащення [2; 5].

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що вивчає теоретичне матеріалознавство?
2. Який стан речовини характеризується малими силами міжмолекулярної взаємодії?
3. Які можливості надає прикладне матеріалознавство?
4. Чи можуть бути кристалічними речовини з іонним і металічним типами зв'язку?
5. Які речовини при нагріванні поступово розм'якшуються, розтікаються і стають рідкими?
6. На які групи поділяються технічні матеріали за призначенням?
7. В чому різниця між інструментальними та конструкційними матеріалами?
8. Охарактеризуйте металічний зв'язок.
9. Чим характеризуються фрикційні матеріали?
10. Якими властивостями характеризується газоподібний стан?
11. Що собою являють аморфні речовини?
12. Перерахуйте властивості та області використання аморфних речовин?
13. Які два напрямки вивчає матеріалознавство?
14. Чим відрізняється прикладне і теоретичне матеріалознавство?
15. Що таке матеріал?
16. Які типи сировини ви знаєте?
17. Який відсотковий вміст домішок в технічно чистій речовині?
18. Які особливості мають речовини, що утворені полярними молекулами?
19. Які особливості має іонно-електронна структура?
20. На які типи поділяються тверді речовини?

21. Які властивості мають речовини з атомною кристалічною решіткою?
22. Чим сирі матеріали відрізняються від напівфабрикатів?
23. Чи бувають твердими нанодисперсні та аморфні речовини?
24. Чи можуть бути напівфабрикати кінцевою продукцією? Чому?
25. Чим відрізняються технічно та хімічно чисті речовини?
26. Чи є хімічний елемент матеріальною частинкою?
27. Що є найменшою частинкою речовини, що зберігає її властивості?
28. Яким чином утворюються іони?
29. Скільки атомів беруть участь в ковалентному зв'язку?
30. Який зв'язок здійснюється в результаті взаємного статичного протягування протилежно заряджених іонів?
31. Чи дисоціюють речовини з металічним зв'язком в розплавах та розчинах?
32. При якому зв'язку електрони кожного окремого атома належать всім атомам, що знаходяться в контакті?
33. Що являють собою аморфні речовини?
34. На які основні групи поділяють технічні матеріали за призначенням?
35. Паливо якого походження визнаєте?
36. До якої групи технічних матеріалів належать клеї та герметики?
37. Чим відрізняються фрикційні і антифрикційні матеріали?
38. Які матеріали призначені для застосування у вузлах тертя?
39. Що таке конструкційні матеріали?

2. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ВИРОБНИЦТВІ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

2.1. Метали і сплави

Метали – найбільш поширені та розповсюджені у виробництві і побуті матеріали. Метали у твердому і частково рідкому стані володіють рядом характерних властивостей:

високою тепло- і електропровідністю;

позитивним температурним коефіцієнтом електроопору; з підвищенням температури електроопір чистих металів зростає; велике число металів має надпровідність, у цих металів при температурі, близькій до абсолютного нуля, електроопір падає стрибкоподібно практично до нуля;

термоелектронною емісією (здатністю випускати електрони при нагріванні);

гарною відбивної здатністю; метали непрозорі і володіють металевим блиском;

підвищеною здатністю до пластичної деформації.

Наявність цих властивостей і характеризує так званий металевий стан речовини. Всі метали і металеві сплави – тіла кристалічні. У вузлах кристалічних ґраток металів знаходяться позитивно заряджені іони, а між ними вільно переміщуються електрони (електронний газ). Характерні властивості металів пояснюються специфічними властивостями металевого зв'язку.

Метали діляться на дві групи: чорні (залізо, марганець, хром) та кольорові – всі інші. Кольорові метали за різними ознаками діляться на підгрупи:

важкі, що мають щільність більше 5 г/см^3 (цинк, мідь, олово, свинець, срібло, золото тощо);

легкі, що мають щільність до 5 г/см^3 (літій, натрій, магній, калій, алюміній і ін.);

тугоплавкі, температура плавлення яких вища, ніж у заліза (ніобій, молібден, вольфрам і ін.);

легкоплавкі (цезій, галій, калій, натрій, олово, свинець і ін.);

рідкісні (молібден, вольфрам, ванадій і ін.);

благородні (золото, срібло, платина, паладій та ін.); та інші.

Властивості металів, що відрізняють їх від інших речовин, обумовлені особливостями їх внутрішньоатомної будови. Відповідно до сучасної теорії будови атомів, кожен атом представляє складну систему, яка складається з позитивно зарядженого ядра, навколо якого на різній відстані від нього рухаються негативно заряджені електрони. На відміну від неметалів, притягальна дія ядра на зовнішні (валентні) електрони в металах у значній мірі скомпенсована електронами внутрішніх оболонок. Тому валентні електрони легко відриваються і вільно переміщуються між утвореними позитивно зарядженими іонами. Слабкий зв'язок окремих електронів з іншою частиною атома і є характерною особливістю атомів металевих речовин, що зумовлює їх хімічні та фізичні властивості.

Будь-який метал складається з великого числа атомів, в яких позитивно заряджені іони, що мають коливальний рух біля деяких центрів, оточені колективізованими валентними електронами. Електрони легко зміщуються з зовнішньої орбіти одного атома на орбіту іншого атома і своєю рухливістю нагадують переміщення частинок в газі, тому іноді застосовують термін електронний газ. Загальне число не пов'язаних з певним атомом колективізованих електронів у різних металах неоднаково. Цим пояснюється досить значна відмінність в ступені «металічності»

окремих металів, зокрема різна їх електропровідність. Наявністю електронного газу пояснюють і особливий тип зв'язку, властивий металам.

Кристалічна будова речовин характеризується закономірним розміщенням атомів у просторі з утворенням кристалічної ґратки. Кристалічну ґратку речовини слід представляти як мислено проведені у просторі в напрямку трьох осей координат прямі лінії, що з'єднують найближчі атоми і проходять крізь їх центри. Проведені зазначеним чином усередині кристалічного тіла лінії утворюють об'ємні фігури правильної геометричної форми. Ці фігури є кристалічними ґратками розглянутого тіла. Для отримання просторового уявлення про кристалічні решітки виготовляють моделі або наочно зображують на площині правильні геометричні фігури. Якщо кристалічне тіло є простою речовиною, наприклад чистим металом, то в будь-якій досліджуваній частині його об'єму кристалічна ґратка є ідентичною.

Для вивчення кристалічних ґраток можна скористатися системою координат. За початок координат приймають точку, в якій розташований будь-який атом. Осі координат проводять так, щоб вони проходили через центри атомів у таких напрямках, по яких атоми розташовані один до одного ближче всього.

У системі координат, що наведена на рис. 1, положення центрів атомів зазначено крапками. Відстань між усіма найближчими атомами в одному напрямку дотримується суворо визначеною. Так, у напрямку осі x всі атоми віддалені один від одного на відстань a . Відстань між атомами в напрямку осі y відповідає величині b і в напрямку осі z величині c . Відстані a , b і c називають параметрами або періодами кристалічної ґратки і виражають їх у ангстремах. У металів параметри кристалічних ґраток знаходяться в межах 2-6 Å. Щоб повністю охарактеризувати кристалічну ґратку будь-якої системи, достатньо вказати її параметри, а також три кути

між осями [2; 3].

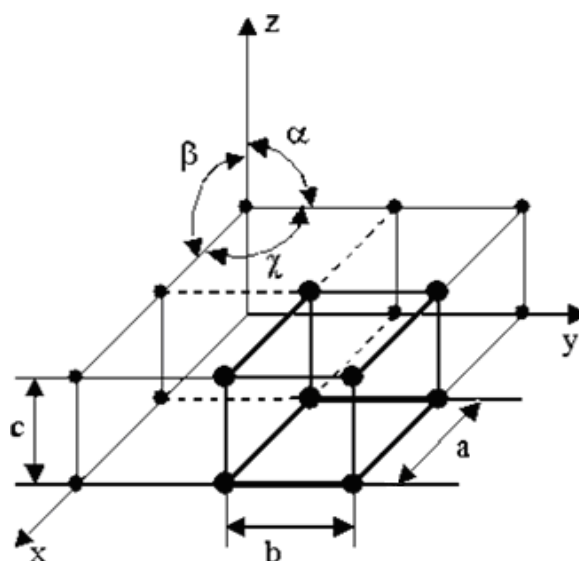


Рис.1. Схема кристалічної ґратки

Найменша частина об'єму кристалічної ґратки, яка визначає її систему, називається елементарною кристалічною коміркою. Будь-яке кристалічне тіло можна представити побудованим із елементарних кристалічних комірок в результаті багаторазового повторення (трансляції) в напрямках осей координат.

Кристалічні ґратки різних речовин розрізняються за формою і розмірами елементарних комірок. Залежно від нахилу координатних осей та відносної довжини параметрів встановлено сім кристалічних систем (сингоній). Більшості металів властиве утворення високо симетричних ґраток з щільною упаковкою атомів, що можна також пояснити наявністю в них спільних електронів (чим щільніше атоми примикають один до одного, тим легший перехід електронів від одного атома до іншого). Суттєвою характеристикою кристалічної структури є також число атомів, що припадають на одну елементарну комірку, – базис решітки.

Елементарну кристалічну ґратку простої кубічної форми утворюють вісім атомів, що знаходяться у всіх вершинах куба. Але кожен атом

всередині тіла належить одночасно восьми кристалічним ґраткам, отже, на кожну кристалічну ґратку від даного атома припадає $1/8$ частина. Таким чином, на побудову однієї елементарної кубічної решітки витрачається один атом. На утворення кубічної об'ємноцентрованої (КОЦ) ґратки необхідно два атоми, так як атом, розташований у центрі куба, належить повністю одній комірці. Кубічну гранецентровану (КГЦ) ґратку утворюють чотири атоми: один з атомів розташований у вершинах куба, а три – посередині граней куба (в кубі шість граней, і кожен атом, що розташований в центрі грані, належить одночасно двом komórкам). На елементарну комірку гексагональної щільноупакованої ґратки (ГЩУ) припадають шість атомів – три лежать усередині призми і належать тільки даній комірці; два атоми, що лежать у центрі шестикутників, входять у дві сусідні komórки ($2 \times 1/2 = 1$ атом) і два атоми з 12, що утворюють вершини призми і належать шести сусіднім komórкам, ($12 \times 1/6 = 2$ атома).

Класифікація можливих видів кристалічних ґраток була проведена французьким вченим О. Браве, відповідно вони отримали назву «решітки Браве». Всього для кристалічних тіл існує 14 видів ґраток, що розбиті на чотири типи:

- примітивний – вузли ґратки збігаються з вершинами елементарних komórок (рис. 2, а);
- об'ємноцентрований – атоми займають вершини komórок та її центр (рис. 2, б);
- базоцентрований – атоми займають вершини komórок та два місця в протилежних гранях (рис. 2, в);
- гранецентрований – атоми займають вершини komórок та центри всіх шести граней (рис. 2, г).

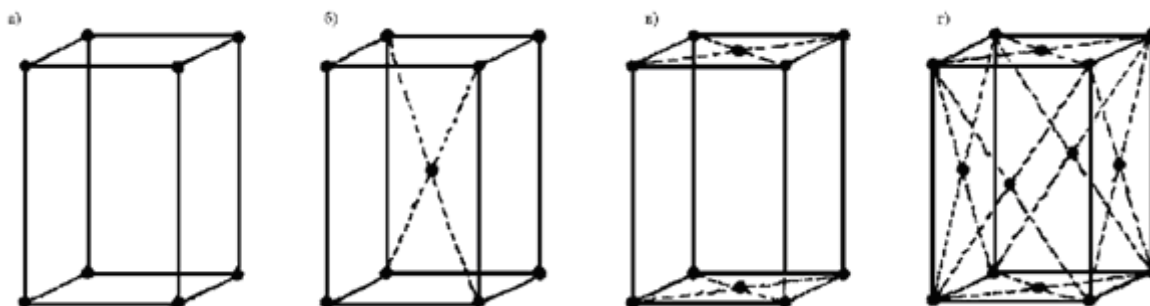


Рис. 2. Типи комірок Браве: а) – примітивна; б) – об'ємноцентрована;
в) – базоцентрована; г) – гранецентрована

Кристалічні ґратки прийнято характеризувати також координаційним числом, яке вказує на число атомів, що розташовані на найближчій однаковій відстані від будь-якого атома в ґратці. Координаційне число простої кубічної ґратки дорівнює 6 (К6), кубічної об'ємноцентрованої 8 (К8), кубічної гранецентрованої і гексагональної щільноупакованої 12 (К12, Г12).

Чим вище координаційне число, тим більша щільність упаковки атомів в елементарній комірці [2; 4].

Щільністю упаковки атомів у кристалічній ґратці називають об'єм, що зайнятий атомами, які умовно розглядають як досить жорсткі кулі (рис. 3). Її визначають як відношення об'єму, що зайнятий атомами, до об'єму комірки. Щільність упаковки в КОЦ ґратці 0,68; в КГЦ і ГПУ 0,74.

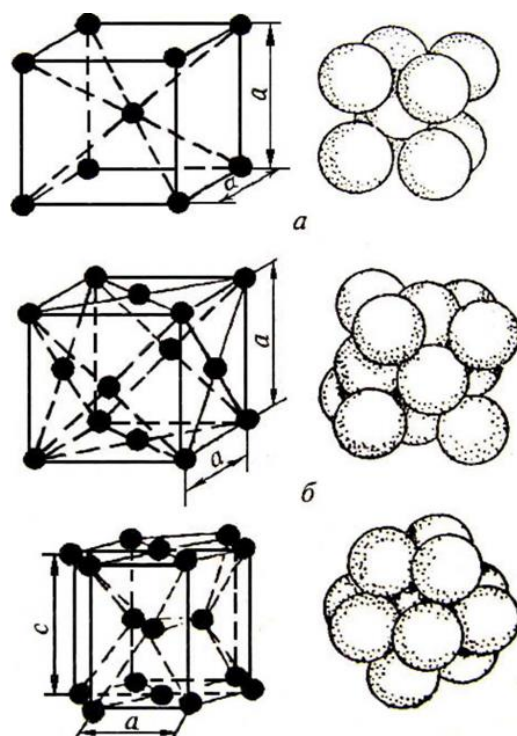


Рис. 3. Кристалічні ґратки металів і схеми упаковки атомів:

а – кубічна об'ємноцентрована (КОЦ); б – кубічна гранецентрована (КГЦ);

в – гексагональна щільноупакована (ГЩУ)

Компактність розташування атомів не слід пов'язувати з розмірами найбільших міжатомних проміжків в кристалічній ґратці. Наприклад, загальний об'єм міжатомних проміжків у КОЦ більше, ніж у КГЦ ґратці, але окремі проміжки в КГЦ за розмірами перевищують найбільші проміжки, що зустрічаються в КОЦ.

З схем (див. рис. 3) видно, що атоми всередині твердого кристалічного тіла не можуть вільно переміщатися для того щоб при такій щільній упаковці будь-який атом перемістився з одного місця в інше, необхідно, щоб деяка частина оточуючих його атомів змістилася з своїх нормальних положень. Зміщенню останніх, в свою чергу, перешкоджають навколишні атоми. Це підтверджує добре відоме положення про малі швидкості дифузії в твердих тілах. Тільки при значному підвищенні

температури, коли амплітуда коливань атомів сильно збільшується, можливий відрив атома зі свого місця і перехід на інше, звільнене іншим атомом.

Властивості кожного тіла залежать від природи атомів, з яких воно складається, і від сили взаємодії між цими атомами, яка в значній мірі визначається відстанню між ними. У аморфних тілах з хаотичним розташуванням атомів в просторі властивості в різних напрямках однакові, тобто аморфні тіла ізотропні. У кристалічних тілах атоми мають правильне розташування в просторі, але різні відстані між атомами в різних напрямках, що визначає істотні відмінності в силах зв'язку між ними і, в кінцевому результаті, різні властивості. Ця особливість кристалів, тобто залежність властивостей від напрямку, називається анізотропією.

Щоб зрозуміти явище анізотропії необхідно виділити кристалографічні площини і кристалографічні напрямки в кристалі.

Положення будь-яких вузлів, вузлових рядів або вузлових площин у просторовій ґратці або кристалографічних напрямків і площин у кристалічній ґратці відносно деяких координатних осей (незалежно від того, прямокутні вони або косокутні, мають однакові або різні осьові одиниці) однозначно визначаються кристалографічними символами, тобто деякими наборами кристалографічних індексів.

Під кристалографічними індексами вузла просторової ґратки розуміють три числа m , n , p – його координати, що виражені в осьових одиницях. Сукупність цих чисел $[[mnp]]$, записану в подвійних квадратних дужках, називають символом вузла. Очевидно, що символ вузла, розташованого на початку координат, $[[000]]$ (рис. 4).

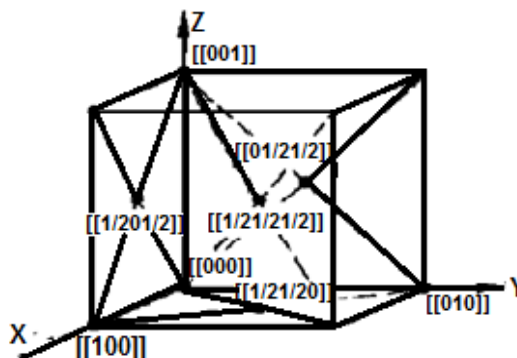


Рис. 4. Кристалографічні символи деяких вершин, центру об'єму і деяких центрів граней куба

Під кристалографічними індексами напрямку розуміють три взаємно простих цілих числа u , v , w , які пропорційні координатам будь-яких вузлів або часток, що лежать на даному ряді або напрямку, і виміряні в вісьових одиницях. Сукупність цих чисел $[uvw]$, записану в квадратних дужках, називають символом напрямку.

Для визначення символу будь-якого напрямку необхідно:

- 1) думкою перенести його паралельно самому собі в початок координат;
- 2) визначити координати будь-якого вузла або частки, що лежать на цьому напрямі, прийнявши за одиниці вимірювання відповідні вісьові одиниці;
- 3) привести відношення знайдених координат до відношення взаємно простих цілих чисел.

Очевидно, що символами координатних вісей x , y і z є відповідно $[100]$, $[010]$, $[001]$ (рис. 5).

Якщо потрібно позначити не окремий напрям, а сукупність всіх кристалографічних еквівалентних напрямів (тобто непаралельних напрямків з однаковими періодами ідентичності), то кристалографічні індекси вказують в кутові дужки $[i,v,w]$.

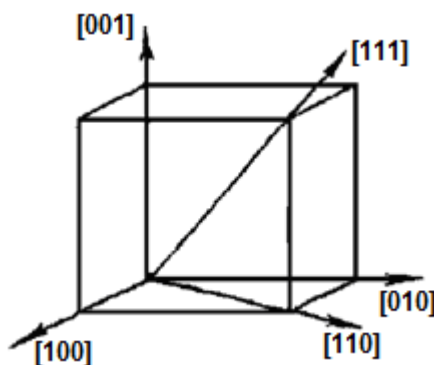


Рис. 5. Кристалографічні символи деяких напрямків куба

Під кристалографічними індексами площини розуміють три взаємно простих цілих числа h , k , l , зворотно пропорційних числам осьових одиниць, що відсікаються на координатних осях. Сукупність цих чисел (h,k,l) , записану в круглих дужках, називають символом площини.

Для визначення символу будь-якої площини необхідно:

- 1) визначити величини відрізків, які ця площина відсікає на координатних вісях, прийнявши за одиниці вимірювання відповідні вісьові одиниці;
- 2) скласти відношення величин, зворотних величинам цих відрізків;
- 3) привести отримане відношення до відношення взаємно простих цілих чисел.

Очевидно, що у площині, паралельній якій-небудь координатній вісі, відрізок, що відтинається на цій вісі, дорівнює нескінченості, а відповідний кристалографічний індекс – нулю. Тому, наприклад, площина, що відтинає на вісях x , y по рівному числу вісьових одиниць і паралельна вісі z , має символ (110) (рис. 6, а), а площина, що перетинає вісь x паралельна вісям y і z , символ (100) (рис. 6, б). Площини, що відсікають на координатних вісях по рівному числу вісьових одиниць, мають, очевидно, символ (111) (рис. 6, в).

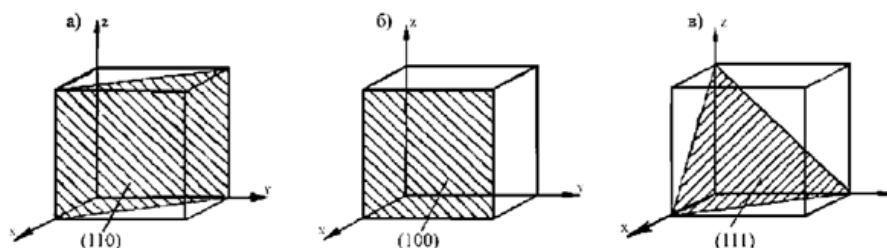


Рис. 6. Кристалографічні символи деяких площин куба

Якщо потрібно позначити не окрему площину, а сукупність всіх кристалографічних еквівалентних площин (тобто непаралельних площин з однаковими міжплощинними відстанями), то кристалографічні індекси записують у фігурних дужках – $\{hkl\}$.

Слід пам'ятати, що у випадку прямокутної системи координат кристалографічні індекси площин і перпендикулярного до неї напрямку збігаються [2; 6].

Кристалографічні індекси вузлів, кристалографічних напрямів і площин можуть бути і негативними числами; знак «мінус» ставиться над індексами: $[[0^{-}1^{-}2^{-}]]$, $[1^{-}3^{-}3^{-}]$, $(1^{-}0^{-}1^{-})$.

Якщо хоча б один із кристалографічних індексів є двозначним числом, то їх відділяють один від одного крапками: $[[10.1.1]]$, $[0.11.12]$, $(13.13.15)$ тощо.

Кристалографічні індекси в символах читаються роздільно, наприклад: $[[01^{-}2]]$ – «нуль, один з мінусом, два»; $[133^{-}]$ – «один, три, три з мінусом»; $(1^{-}01^{-})$ – «один з мінусом, нуль, один з мінусом» тощо [5; 6].

2.2. Сталі

Сталі широко застосовуються у всіх сферах життєдіяльності людини. У промисловості сталь є основним матеріалом, широко застосовуваним у машинобудуванні, а також для виготовлення різного інструменту. Вона порівняно недорога; володіє комплексом цінних механічних, фізико-хімічних та технологічних властивостей; виробляється в великих кількостях.

Сталлю називається сплав заліза з вуглецем (до 2,14 %) та іншими елементами.

Сталі класифікують за хімічним складом; структурою; призначенням; якістю; ступенем розкислення тощо.

За хімічним складом сталі поділяють на:

- вуглецеві (низьковуглецеві, що містять до 0,3, середньовуглецеві – 0,3-0,65 та високовуглецеві – більше 0,5 % карбону);
- леговані (сума легуючих елементів в низьколегованих сталях до 2,5, у середньолегованих 2,5-10,0, а у високолегованих – більше 10,0 %).

При визначенні ступеня легування вміст вуглецю до уваги не беруть, манган і силіцій вважаються легуючими елементами при їх вмісті більше 1,0 і 0,8 %, відповідно.

При маркуванні сталей використовують такі позначення хімічних елементів: А – азот, Б – ніобій, В – вольфрам, Г – манган, Д – мідь, Е – селен, К – кобальт, М – молібден, Н – нікель, Р – бор, С – силіцій, П – фосфор, Т – титан, Ю – алюміній, Х – хром, Ц – цирконій, Ф – ванадій.

Для маркування сталі користуються певним поєднанням цифр і букв, що показують зразковий хімічний склад сталі.

Перші цифри в марці сталі вказують вміст вуглецю в сотих долях

відсотка. Якщо на початку маркування перед літерами стоїть одна цифра, то вона вказує на вміст вуглецю в десятих частках відсотка; при вмісті вуглецю понад 1 % цифру перед літерами не ставлять.

Далі у маркуванні слідує літери, що показують наявність відповідних легуючих елементів у складі сталі. Цифри за літерами показують середній відсотковий вміст легуючого елементу, якщо вміст елемента менше 1,0-1,5 %, цифра не ставиться. В окремих випадках може бути вказано більш точно вміст легуючого елементу. Наприклад, сталь 32Х06Л містить в середньому 0,32 % вуглецю і близько 0,6 % хрому. Остання буква «Л» вказує, що сталь ливарна.

Для позначення високоякісної легованої сталі, наприкінці маркування додають букву «А». Високоякісна сталь містить менше сірки та фосфору, ніж якісна.

Деякі сталі спеціального призначення виділені в окремі групи і мають особливе маркування. Кожній групі присвоюється своя буква і ставиться попереду: Ж – хромована неіржавна сталь; Я – хромнікелева неіржавна сталь; Р – швидко ріжуча сталь; Ш – шарикопідшипникова сталь; Е – електротехнічна сталь.

На формування структури сталі найбільшою мірою впливає вуглець. Структура сталі без термічної обробки після повільного охолодження складається з суміші фериту і цементиту (структура такої сталі або перліт + ферит, або перліт + цементит). Кількість цементиту в сталі прямо пропорційна вмісту вуглецю. Тверді частинки цементиту підвищують опір деформації, зменшуючи пластичність і в'язкість. Таким чином, із збільшенням в сталі вмісту вуглецю, зростають твердість, межа міцності і зменшуються в'язкість, відносне подовження і звуження.

На їх механічні властивості заевтектонічних сталей сильно впливає вторинний цементит, який утворює крихку сітку навколо зерен перліту. Ця

сітка сприяє передчасному руйнуванню сталевих виробів під навантаженням. Тому заевтектоїдні сталі застосовують після спеціального відпалу, в результаті якого отримують в структурі зернистий перліт.

Зменшення вмісту вуглецю нижче 0,3 % та збільшення понад 0,4 % призводить до погіршення оброблюваності різанням. Подальше збільшення вмісту вуглецю знижує технологічну пластичність сталі при обробці тиском, і погіршує її зварюваність – здатність матеріалів утворювати нероз'ємні з'єднання із заданими властивостями.

Силіцій слабо впливає на структуру і механічні властивості вуглецевої сталі, але як розкислювач він сприяє поліпшенню ливарних властивостей. Силіцій сильно підвищує межу текучості сталі, що знижує її здатність до витяжки. Тому в сталях, що призначені для холодного штампування, вміст силіцію має бути найменшим.

Манган є гарним дисульфуратором і розкислювачем (зменшує шкідливий вплив сірки і кисню); сприяє підвищенню механічних властивостей сталі, не знижуючи пластичності, і різко зменшує крихкість при високих температурах (червоноламкість). У вітчизняній практиці вміст мангану витримують у межах 0,35-0,65 % у низьковуглецевих сталях і 0,5-0,8 % в середньо- і високовуглецевих. Багато закордонних фірм вважають за краще доводити вміст мангану в вуглецевих сталях до 0,9-1,1 %.

Сірка є шкідливою домішкою в металі, її вміст не повинен перевищувати 0,06 %. З залізом сірка утворює хімічну сполуку – сульфід заліза (легкоплавкий евтектичний сплав), що розташовується зазвичай по межах зерен металевої матриці. При нагріванні сталі до 1000-1300 °С, евтектика розплавлюється і порушується зв'язок між зернами металу, тобто відбувається окрихчення.

При наявності в сталі мангану виключається утворення легкоплавкої евтектики і явище червоноламкості.

Сульфіди, як і інші неметалічні включення, сильно знижують однорідність будови і механічні властивості сталі, особливо пластичність, ударну в'язкість і межу витривалості, а також погіршують зварюваність і корозійну стійкість.

Фосфор є шкідливою домішкою в металі, і вміст його не повинен перевищувати 0,08 %. Розчиняючись фосфор сильно спотворює і ущільнює кристалічну ґратку фериту. При цьому збільшуються межі міцності та текучості сплаву, але зменшуються його пластичність і в'язкість. Фосфор значно підвищує поріг тріщини сталі.

Гази (азот, водень, кисень) частково розчиняються у сталі, тому можуть бути присутні у вигляді крихких неметалічних включень – оксидів і нітридів. Концентруючись по межах зерен, вони підвищують поріг тріщини, знижують межу витривалості і опір крихкому руйнуванню. Наприклад, оксиди при гарячій обробці сталі тиском не деформуються, а кришаться і розпушують метал.

Силіцій, манган, сірка, фосфор, а також гази: кисень, азот, водень – є постійними домішками в сталі. Крім них у сталі можуть бути випадкові домішки, що потрапляють із вторинної сировини або руд окремих родовищ. З сталевого брухту (скрапу) у сталь можуть потрапити хром, нікель, станум та ряд інших елементів. Інші домішки знаходяться в сталі у невеликих кількостях і не мають істотного впливу.

За призначенням сталі поділяються на три групи: конструкційні сталі (призначені для виготовлення деталей машин і елементів будівельних конструкцій), інструментальні і сталі спеціального призначення (з особливими фізичними та механічними властивостями – нержавіючі, жаростійкі, жароміцні. зносостійкі та ін.).

За якістю сталі класифікують на звичайної якості (містять до 0,06 % S і 0,07 % P); якісні (до 0,035 % S і 0,035 % P); високоякісні (не більше

0,025 % S і 0,025 % P); особливо високоякісні (не більше 0,015 % S і 0,025 % P).

Під якістю розуміється сукупність властивостей сталі, що визначається металургійним процесом її виробництва, – однорідність хімічного складу, будова і властивості, що залежать від вмісту шкідливих домішок і газів.

За ступенем розкислення сталі класифікують на спокійні (сп); напівспокійні (нс); киплячі (кп). Розкисленням називають процес видалення кисню з рідкої сталі.

Спокійні сталі розкислюють манганом, алюмінієм і силіцієм в плавильній печі і ковші. Вони тверднуть у виливниці спокійно, без газовиділення, з утворенням у верхній частині злитків усадочної раковини.

Дендритна ліквіація викликає анізотропію механічних властивостей. Пластичні властивості сталі в поперечному (по відношенню до напрямку прокатки або кування) перерізі значно нижче, ніж в повздовжньому.

Зональна ліквіація призводить до того, що у верхній частині злитка вміст сірки, фосфору та вуглецю збільшується, а в нижній – зменшується. Це призводить до значного погіршення властивостей виробів з такого злитка, аж до відбраковування.

Киплячі сталі розкислюють тільки манганом, чого часто недостатньо. Перед розливанням в них міститься підвищена кількість кисню, який при затвердінні злитку частково реагує з вуглецем і виділяється у вигляді газових бульбашок оксиду вуглецю, створюючи враження «кипіння» сталі.

Кипляча сталь практично не містить неметалічних включень продуктів розкислення. Ці стали виплавляють низьковуглецевими і з дуже малим вмістом силіцію (менше 0,07 %), але з підвищеною кількістю газоподібних домішок. При прокатці злитків газові бульбашки, що

заповнені окисом вуглецю, заварюються. Листовий прокат з такої сталі призначений для виготовлення деталей кузовів автомобілів витяжкою, має хорошу штампованість в холодному стані.

Напівспокійні сталі за ступенем їх розкислення займають проміжне положення між спокійними і киплячими сталями. Частково їх розкислюють в плавильній печі і в ковші, а остаточно – у виливниці за рахунок вуглецю, що міститься в металі. Ліквация в злитках напівспокійної сталі менше, ніж у киплячій сталі, і наближається до ліквации в злитках спокійної сталі [2-5].

2.2.1. Вуглецеві сталі

Вуглецеві сталі відносяться до числа найбільш поширених конструкційних матеріалів. Обсяг їх виробництва сягає 80 % від загальної виплавки сталі.

Випускають вуглецеві сталі трьох груп: звичайної якості; якісну (загального призначення); спеціального призначення (автоматну, котлову тощо).

Вуглецеві сталі звичайної якості характеризуються значним вмістом шкідливих домішок, неметалевих включень і газів. Сталі звичайної якості випускають у вигляді прокату.

Залежно від гарантованих властивостей сталі підрозділяють на три групи: А, Б, В; по нормованим показникам на шість категорій (або так званих, умовних порядкових номерів). Маркують їх буквами «Ст». Індекси, що стоять праворуч від номера марки, означають: кп – кипляча, нс – напівспокійна, сп – спокійна сталь. Між індексом і номером марки може стояти літера «Г», що означає підвищений вміст мангану. У позначеннях марок ліворуч від букв «Ст» вказують групи (Б і В, група А не вказується)

сталі. Категорію стали (за вимогами до нормованих показників хімічного складу і механічних властивостей) позначають відповідною цифрою правіше індексу ступеня розкислення.

Наприклад, Ст5Гнс3 означає: сталь групи А, марки Ст5 з підвищеним вмістом мангану, напівспокійна, третьої категорії. Сталь першої категорії пишеться без зазначення номера останньої, наприклад Ст4сп.

Сталі групи А тільки з гарантованими механічними властивостями; поставляються в відпаленому стані без гарячої обробки. Їх хімічний склад не регламентується.

Сталі групи Б тільки з гарантованим хімічним складом; використовують для виготовлення виробів із застосуванням гарячої обробки (штампування, кування).

Сталі групи В мають гарантовані механічні властивості і хімічний склад. Їх широко застосовують при виробництві зварних та інших конструкцій.

Вуглецеві сталі звичайної якості застосовують для виготовлення різних металоконструкцій, ненавантажених деталей машин і механізмів, кріпильних виробів. Сталі марок Ст5 і Ст6 призначені для виробництва рейок, залізничних коліс, валів і шківів вантажопідйомних машин і механізмів.

Вуглецеві якісні сталі мають менший, порівняно зі сталями звичайної якості, вміст шкідливих домішок і неметалевих включень. Поставляють їх у вигляді прокату з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом.

Сталь маркують двозначними числами, які показують вміст вуглецю в сотих долях відсотка. За ступенем розкислення сталь поділяють на киплячу (кп), напівспокійну (нс), спокійну (без зазначення індексу). Буква

«Г» в марках сталей вказує на підвищений вміст мангану (до 1 %).

Вуглецеві якісні сталі застосовують в машинобудуванні для виготовлення методом штампування деталей кузовів автомобілів, корпусів та кожухів (сталь 08кп, сталь 05кп, сталь 10кп), зварних конструкцій, резервуарів, ємностей, труб середньої міцності (сталь 08сп, сталь 10сп), малонавантажених зубчастих коліс, кулачків вісей (сталь 10, сталь 20, сталь 25).

Застосування спеціальних методів обробки (загартування, нормалізації, поліпшення) дозволяє використовувати вуглецеві якісні сталі для виготовлення деталей, що зазнають циклічних навантажень (сталі 40, 45, 55, 60). Сталі з підвищеним вмістом вуглецю і мангану (сталі 65, 70, 75, 80, 60Г, 70Г) застосовують як ресорно-пружинні.

Сталі вуглецеві спеціального призначення. До цієї групи відносяться сталі з високими технологічними характеристиками (підвищена оброблюваність різанням, хороша зварюваність та ін.) Вони призначені в основному для виготовлення виробів масового виробництва.

Автоматні сталі з підвищеним вмістом сірки та фосфору мають гарну оброблюваність різанням. При обробці таких сталей на верстатах-автоматах утворюється коротка і дрібна стружка, знижується витрата ріжучого інструменту і зменшується шорсткість оброблених поверхонь.

Автоматні сталі маркують буквою «А» і цифрами, які показують середній вміст вуглецю в сотих долях відсотка. Застосовують наступні марки автоматної сталі: А12, А20, А30, А40Г. Зі сталі А12 виготовляють невідповідальні деталі, всі інші марки автоматної сталі придатні для виготовлення відповідальних деталей, що працюють при значних напруженнях σ і підвищених тисках. Ці сталі не застосовують для виготовлення конструкцій.

Котельна сталь застосовується для виготовлення деталей та

пристроїв, що працюють під тиском (парових котлів, суднових топок, камер горіння газових турбін та ін.) Вони працюють при змінних тисках і температурах до 450 °С, добре зварюються. Для отримання таких властивостей у вуглецеву сталь вводять технологічну добавку (титан) та додатково розкислюють її алюмінієм.

Випускають наступні марки вуглецевої котельної сталі: 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, 22К з вмістом 0,08-0,28 % вуглецю і поставляють у вигляді листів товщиною до 200 мм.

Для поліпшення фізичних, хімічних, механічних і технологічних властивостей сталі легують, тобто вводять до складу додаткові елементи (хром, нікель, молібден та ін.) Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів, які надають їм спеціальних властивостей.

Легуючі елементи часто вводять в сталь для підвищення її конструкційної міцності. Основною структурною складовою конструкційної сталі є ферит. Розчиняючись в фериті, легуючі елементи зміцнюють його. Більшість легуючих елементів, зміцнюючи ферит і мало впливаючи на пластичність, знижують його ударну в'язкість (за винятком нікелю).

В значній мірі підвищенню конструкційної міцності при легуванні сталі сприяє збільшення ступеня прогартовування. Висока конструкційна міцність сталі забезпечується раціональним вмістом в ній легуючих елементів. Надмірне легування (за винятком нікелю) після досягнення необхідної загартованості призводить до зниження в'язкості і сприяє крихкому руйнуванню сталі.

Хром, в кількості до 2 %, не впливає на механічні властивості конструкційної сталі.

Нікель – найбільш цінний легуючий елемент. Його вводять в кількості від 1 до 5 %.

Манган вводять в сталь у кількості до 1,5 %. Він помітно підвищує межу текучості сталі, але робить сталь чутливою до перегріву.

Силіцій значно підвищує межу текучості сталі і при вмісті більше 1 % знижує в'язкість і підвищує поріг тріщини.

Молібден і вольфрам в кількості 0,2-0,4 % і 0,8-1,2 %, відповідно, в комплексно легованих сталях сприяють подрібненню зерна, підвищують марку сталі та покращують деякі інші властивості.

Ванадій і титан вводять у невеликій кількості (до 0,3 V і 0,1 % Ti) в сталі, що містять хром, манган, нікель для подрібнення зерна.

Підвищений вміст ванадію, молібдену і вольфраму в конструкційних сталях неприпустимий через утворення важкорозчинних при нагріванні карбідів цих елементів. Надлишкові карбіди, розташовуючись по межах зерен, сприяють крихкому руйнуванню і знижують марку сталі.

Бор вводять для загартованості в дуже невеликих кількостях (0,002-0,005 %).

Будівельні низьколеговані сталі з підвищеним вмістом мангану (Г1 містять 0,4-0,7, а Г2 – 1,2-1,6 % Mn) і силіцію (0,6-1,2 %) після гарячої прокатки або термічної обробки використовують для виготовлення зварних і клепаних конструкцій будівельних ферм, конструкцій мостів, рам і т.п. Манганову сталь марок 19Г і 14Г застосовують для виготовлення магістральних нафтопроводів, сталі 35ХС, 25Г2сп – для виробництва арматури звичайних і заздалегідь напружених залізобетонних конструкцій.

Низьколеговані сталі після прокатки зазвичай перевершують за технічним властивостям вуглецеві сталі. Оптимальне поєднання їх властивостей досягається при введенні декількох легуючих елементів (наприклад, сталі 10Г2С1Д, І5Г2СФ, І4Г2АФД та ін.) Конструкції, що експлуатуються при низьких температурах навколишнього середовища, виконують із сталей, легованих нікелем.

Низьколеговані низьковуглецеві сталі добре зварюються. Властивості зварних швів і прилеглих до них ділянок близькі до властивостей основного металу. Сталі, що використовуються для зварних конструкцій, містять алюміній або титан, які запобігають укрупненню зерна металу в біляшовній зоні. Легування міддю, нікелем, хромом, фосфором сприяє збільшенню корозійної стійкості сталей в газоповітряних і вологих середовищах.

Машинобудівні цементуючі леговані сталі. Сталі цієї групи містять 0,1-0,3 % вуглецю і 0,2-4,4 % легуючих елементів. Експлуатаційні властивості виробів з низько- і середньолегованих сталей визначаються поєднанням властивостей поверхневого шару і серцевини. Міцнісні властивості шару на робочій поверхні виробів головним чином обумовлені вмістом в ньому вуглецю. За механічними властивостями після термообробки (цементації) сталі цієї групи поділяють на сталі середньої міцності ($\sigma_T \leq 700$ МПа) і сталі підвищеної міцності ($\sigma_T > 700$ МПа).

Цементуючі леговані сталі застосовують для виготовлення навантажених деталей, що зазнають знакозмінних та ударних навантажень (зубчастих коліс, валів, кулачків тощо). Характерні представники цієї групи – сталі 15ХФ, 15Х, 20Х – відрізняються середньої міцністю. Після загартовування в маслі серцевина деталей з таких сталей зміцнюється, але поверхневий шар чутливий до надрізу. Застосовують їх для виготовлення невеликих деталей, що експлуатуються при середніх навантаженнях.

До сталі підвищеної міцності відносять комплексно леговані і економно леговані. Сталі 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХН4А застосовують для виготовлення деталей середніх та великих розмірів, що працюють в умовах інтенсивного зношування при підвищених навантаженнях (зубчастих коліс, поршневих пальців, вісей та ін.).

Особливо відповідальні деталі – зубчасті колеса, авіаційні двигуни,

суднові редуктори – виготовляють із сталей 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, які мало знеміцнюються при відпусканні. Вони можуть бути використані і без цементації після загартовування і відпускання.

Машинобудівні покращені леговані сталі використовуються переважно після операції термічного поліпшення (загартовування і високого відпускання при температурі 500-600 °С).

Покращені леговані сталі характеризуються вмістом вуглецю 0,3-0,5 % і легуючих елементів не більше 5 %. Основне їх призначення – виготовлення відповідальних деталей машин для експлуатації при дії циклічних і ударних навантажень. Для цього вони повинні володіти низькою чутливістю до напружень, достатньою в'язкістю і пластичністю, високою межею текучості. Необхідний комплекс службових характеристик сталей забезпечується їх поліпшенням, наявністю наскрізної загартованості, дрібнозернистої структури і недопущенням відпускнуї крихкості.

Хромовані сталі 30Х, 40Х, 50Х застосовують для виготовлення середньонавантажених деталей машин і механізмів, технологічного оснащення.

Хромосиліційманганові сталі (хромансілі) марок 30ХГСА, 35ХГСА відрізняються поєднанням високих механічних і технологічних властивостей. Добре зварюються і штампуються. Широко застосовуються в автомобілебудуванні.

Хромонікелеві сталі 40ХН, 50ХН мають високу загартованості в поєднанні з достатньою міцністю і в'язкістю. З них виготовляють відповідальні деталі, що працюють при дії динамічних навантажень.

Хромонікельмолібденові сталі 40ХНМА, 38НХЗМА, 38ХНЗМФА відносяться до числа найбільш міцних покращених сталей. Введення нікелю сприяє зниженню порогу тріщини і підвищенню загартованості

сталі. Легування молібденом і вольфрамом забезпечує підвищення механічних властивостей сталі, стійкості її до впливу підвищених температур (до 450 °C). Використовують такі сталі для виготовлення особливо відповідальних великих деталей – валів і роторів турбін, компресорів, редукторів. Недоліки цієї групи сталей – важкість обробки різанням.

Широке застосування отримали середньовуглецеві сталі, зміцнені загартовуванням і низьким відпуском (180-200 °C), які мають структуру відпущеного мартенситу. Міцність таких сталей визначається вмістом в них вуглецю і практично не залежить від легуючих елементів, які вводять для поліпшення прогартованості сталі, стійкості її після відпускання. Легування нікелем в поєднанні з іншими елементами знижує чутливість деталей з цих сталей до надрізу.

Мартенситостаріючі сталі – безвуглецеві (не більше 0,03 % C) сплави заліза з нікелем, леговані кобальтом, молібденом, титаном, алюмінієм, хромом і іншими елементами.

Сталі цієї групи (H18K9M5T, H12K15M10, H10X11M2T) є перспективними конструкційними матеріалами. Високі механічні властивості цих сталей досягаються за рахунок старіння мартенситу, легування твердого розчину і загартування на повітрі при температурах 800-860 °C. Утворений пересичений залізонікелевий мартенсит поєднує досить високу міцність і пластичність. В основному зміцнення сталей досягається в результаті старіння при 450-500 °C.

Мартенситостаріючі сталі зберігають високі механічні характеристики при низьких температурах аж до зріджених газів. Такі сталі теплотривкі до 500-700 °C. Перевагою сталей даного класу є висока технологічність їх переробки. Вони мають практично необмежене маркування, добре зварюються, легко обробляються тиском, різанням

навіть у загартованому стані; при термічній обробці не піддаються викривленню.

Мартенситостаріючі сталі знаходять широке застосування для виготовлення відповідальних деталей в авіації, суднобудуванні, ракетній та кріогенній техніці.

Пружинні сталі. Сталі з високими межами пружності і витривалості, що поєднуються з достатньою їх пластичністю і в'язкістю, застосовують для виготовлення пружних елементів загального призначення – пружин, ресор, амортизаторів тощо.

Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей, в сталі вводять не менше 0,5 % вуглецю, піддають загартовуванню та відпусканню.

Пружні елементи простої форми виготовляють з термічно оброблених сталей. Великі пружини отримують навивкою відпаленого дроту.

Ресорно-пружинні сталі відносять до перлітного класу. Основними легуючими елементами таких сталей є силіцій, манган, хром, ванадій, нікель. Легування обумовлює в основному підвищення прогартованості сталі, межі її витривалості, зниження залишкових деформацій.

Силіцієві сталі 50C2, 55C2, 60C2 мають високу межу текучості і використовуються для виготовлення ресор автомобілів, торсіонних валів, пружин і ін. Сталі марок 60C2ХА, 60C2ФА застосовують для високо навантажених ресор і пружин.

Сталі марок 70C3А, 60C2ХА, 60C2Н2А володіють найбільш високими механічними властивостями і йдуть на виготовлення навантажених і відповідальних пружних елементів. Поверхневі дефекти виробів з таких сталей різко знижують довговічність пружин і ресор. Тому термін їхньої служби підвищують поверхневим наклепом [2; 7; 8].

2.3. Чавуни

Чавуном називають сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, що містить більше 2,14 % С.

До складу чавуну крім вуглецю також входять домішки силіцію, мангану, фосфору, сульфуру. Властивості чавуну в значній мірі визначаються вмістом цих домішок.

Механічні властивості і області застосування чавуну визначаються його структурою, в якій найважливішу роль відіграє вуглецева складова сплаву.

Формування мікроструктури чавуну залежить від його хімічного складу і швидкості охолодження (товщини) виливки. Змінюючи швидкість охолодження виливки і вміст силіцію можна отримувати чавун різної структури.

Характерною особливістю чавунів є те, що вуглець у сплаві може знаходитися не тільки в розчиненому і зв'язаному стані (у вигляді цементиту Fe_3C), а й у вільному стані – у вигляді графіту. При цьому форма включень графіту і структура металевої основи (матриці) визначають основні типи чавуну та їх властивості [2; 4; 7].

Класифікація чавуну здійснюється за наступними ознаками:

- за станом вуглецю – вільний або зв'язаний;
- за формою включень графіту – пластинчастий, вермікулярний, кулястий, пластівцеподібний (рис. 7);
- за типом структури металевої основи (матриці) – феритною, перлітною, а також чавуни зі змішаною структурою, наприклад, феритно-перлітною;
- за хімічним складом – нелеговані чавуни (загального призначення) і леговані чавуни (спеціального призначення).

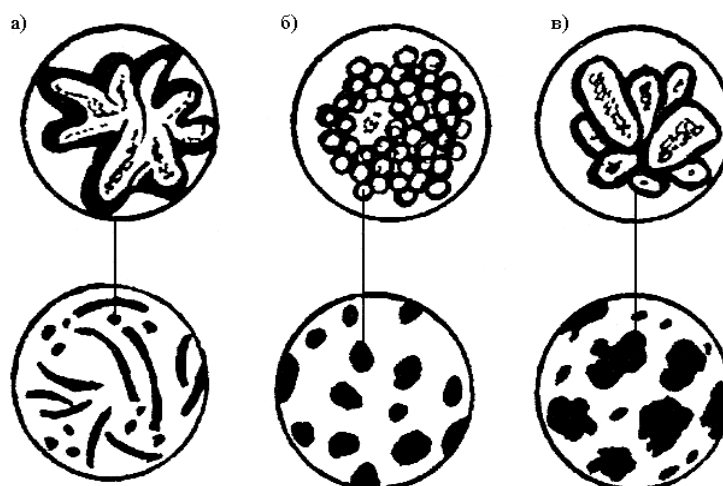


Рис. 7. Структура чавуну з графітом різної форми:

а) – пластинчастий графіт в сірому чавуні; б) – кулястий графіт у високоміцному чавуні; в) – листковий графіт в ковкому чавуні

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун, в якому весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C ;
- половинчастий чавун, в якому основна кількість вуглецю (більше 0,8 %) знаходиться у вигляді цементиту;
- сірий чавун, в якому весь вуглець або його велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді пластинчастого графіту;
- вибілений чавун, в якому основна маса металу має структуру сірого чавуну, а поверхневий шар – білого;
- високоміцний чавун, в якому графіт має кулясту форму;
- ковкий чавун, що виходить з білого шляхом відпалу, при якому вуглець переходить у вільний стан у вигляді пластівцеподібного графіту.

Мікроструктура чавуну складається з металевої основи (матриці) і графітових включень. Властивості чавуну визначаються властивостями

металевої основи і характеру включень графіту. Чавуни містять наступні структурні складові (рис. 8): графіт (Г), перліт (П), ферит (Ф), ледебурит (Л); фосфідну евтектику.

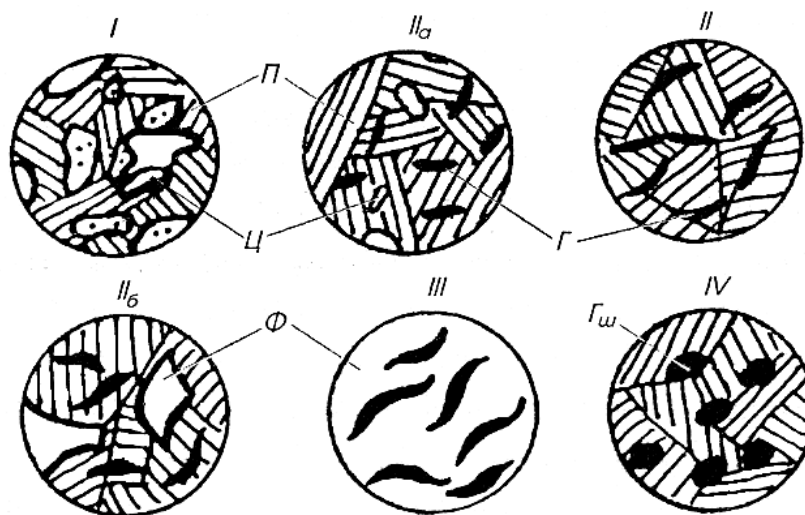


Рис. 8. Мікроструктура чавуну: I – білий; II – сірий; III – сірий феритний; II а – половинчастий; II б – феритно-перлітний; IV – високоміцний

За мікроструктурою розрізняють (див. рис. 8):

- білий чавун I (Ц + Г);
- сірий перлітний чавун II (П + Г);
- сірий феритний чавун III (Ф + Г);
- половинчастий чавун II а (П + Ц + Г);
- високоміцний чавун IV (П + кулястий графіт).

Формування мікроструктури чавуну залежить від його хімічного складу і швидкості охолодження (товщини) виливки. Структура металевої основи визначає твердість чавуну.

Карбон у складі чавуну може бути присутнім у вигляді цементиту (Fe_3C), графіту або їх суміші. У порівнянні з металевою основою графіт має низьку міцність. Місця його розташування можна вважати порушеннями суцільності металу: чавун як би пронизаний включеннями

графіту, які послаблюють його металеву основу. По мірі округлення графітних включень (за рахунок модифікування чавуну присадками SiCa, FeSi, Al, Mg) їх негативна роль як надрізів металевої основи знижується, і механічні властивості чавуну зростають.

Наприклад, сірий чавун (пластинчаста форма графіту) має низькі механічні характеристики, так як пластинки включень графіту відіграють роль концентраторів напружень у відливці. Однак сірий чавун має ряд переваг: високу рідкоплинність і малу ливарну усадку; включення графіту роблять стружку ламкою, дозволяючи легко обробляти чавун різанням; завдяки мастильній дії матеріалу графіту чавун має добрі антифрикційні властивості; добре гасить вібрації і резонансні коливання. З високоміцних чавунів (куляста форма графіту) виготовляють відповідальні деталі: зубчасті колеса, колінчаті вали тощо.

Силіцій сприяє графітизації чавуну. Змінюючи його вміст та швидкість охолодження відливки, можна отримати чавун різної структури.

Манган перешкоджає графітизації і нейтралізує шкідливий вплив сірки, утворюючи з нею тугоплавкі з'єднання MnS.

Фосфор не має істотного впливу на процес графітизації. При підвищеному вмісті фосфору в структурі чавуну утворюються тверді включення фосфідної евтектики, яка підвищує його ливарні властивості.

Сірка є шкідливою домішкою. Вона зумовлює погіршення ливарних властивостей чавуну, збільшення усадки, тріщиноутворення, зниження температури червоноламкості чавуну.

Сірий чавун – це сплав системи Fe-C-Si, що містить в якості домішок марганець, фосфор, сірку. Вуглець в сірих чавунах переважно знаходиться у вигляді графіту пластинчастої форми.

Структура відливок визначається хімічним складом чавуну і технологічними особливостями його термообробки. Механічні властивості

сірого чавуну залежать від властивостей металевої матриці, форми і розмірів графітових включень. Властивості металевої матриці чавунів близькі до властивостей сталі. Графіт, який має невисоку міцність і знижує міцність чавуну. Чим менше графітових включень і вище їх дисперсність, тим більша міцність чавуну.

Графітові включення викликають зменшення границі міцності чавуну при розтягуванні. На міцність при стисненні і твердість чавуну частинки графіту впливу практично не мають. Властивість графіту утворювати мастильні плівки призводить до зниження коефіцієнта тертя і збільшення зносостійкості виробів із сірого чавуну. Графіт покращує оброблюваність різанням. Сірий чавун маркують літерами СЧ (сірий чавун). Число після літерного позначення показує середнє значення межі міцності чавуну при розтягуванні. Наприклад, СЧ20 – чавун сірий, межа міцності при розтягуванні 200 МПа.

За властивостями сірі чавуни можна умовно поділити на наступні групи:

- феритні і феритно-перлітні чавуни (марки СЧ10, СЧ15), застосовують для виготовлення маловідповідальних ненавантажених деталей машин;
- перлітні чавуни (марки СЧ20, СЧ25, СЧ30) використовують для виготовлення зносостійких деталей, для експлуатації при великих навантаженнях: поршнів, циліндрів, блоків двигунів;
- модифіковані чавуни (марки СЧ35, СЧ40, СЧ45), отримують додаванням перед розливанням у рідкий сірий чавун присадок феросиліцію, такі чавуни мають перлітну металеву матрицю з невеликою кількістю ізольованих пластинок графіту.

Модифікування сірого чавуну магнієм, а потім феросиліцієм, дозволяє отримувати магнієвий чавун (СМЧ), що володіє міцністю сталі і

високими ливарними властивостями сірого чавуну. З нього виготовляють деталі, що піддаються ударам, впливу змінних напруг і інтенсивного зносу, наприклад, колінчасті вали легкових автомобілів.

Відмінною особливістю високоміцного чавуна є його високі механічні властивості, що обумовлені наявністю в структурі кулястого графіту, який у меншій мірі, ніж пластинчастий графіт у сірому чавуні, послаблює робочий перетин металевої основи і, що найважливіше, не чинить на неї сильної надрізної дії, завдяки чому навколо включень графіту в меншій мірі створюються концентратори напружень. Чавун з кулястим графітом володіє не тільки високою міцністю, але і пластичністю.

Отримання кулястого графіту в чавуні досягається модифікуванням розплаву присадками, що містять Mg, Ca, Ce та інші рідкоземельні метали (РЗМ). Хімічний склад і властивості високоміцних чавунів регламентуються ДСТУ і маркуються літерами ВЧ (високоміцний чавун) і числом, що позначає середнє значення межі міцності чавуну при розтягуванні. Наприклад, ВЧ100 – високоміцний чавун, межа міцності при розтягуванні 1000 МПа (або 100 кг/мм²).

Високоміцний чавун з кулястим графітом є найбільш перспективним ливарним сплавом, за допомогою якого можна успішно вирішувати проблему зниження маси конструкцій при збереженні їх високої надійності і довговічності.

Високоміцний чавун використовують для виготовлення відповідальних деталей автомобілебудування (колінчасті вали, зубчасті колеса, циліндри та ін.)

Білі чавуни характеризуються тим, що у них весь вуглець знаходиться в хімічно зв'язаному стані – у вигляді цементиту. Злам такого чавуну має матово білий колір. Наявність великої кількості цементиту

надає білому чавуну високу твердість, крихкість і дуже погану оброблюваність різальним інструментом.

Висока твердість білого чавуну забезпечує його високу зносостійкість, в тому числі при дії абразивних середовищ. Ця властивість білих чавунів враховується при виготовленні з них поршневих кілець. Однак білий чавун застосовують головним чином для відливання деталей з наступним відпалом на ковкий чавун.

Ковкий чавун одержують шляхом відпалу білого чавуну певного хімічного складу, що відрізняється зниженим вмістом графітизуючих елементів (2,4-2,9 % С і 1,0-1,6 % Si), так як в литому стані необхідно отримати повністю вибілений чавун по всьому перетину виливки, що забезпечує формування пластівцеподібного графіту в процесі відпалу.

Механічні властивості і рекомендований хімічний склад ковкого чавуну регламентують ДСТУ та маркують літерами КЧ (ковкий чавун) і цифрами. Перша група цифр показує межу міцності чавуну при розтягуванні, друга – відносне його подовження при розриві. Наприклад, КЧ33-8 означає: ковкий чавун з межею міцності при розтягуванні 33 кг/мм² (330 МПа) і відносним подовженням при розриві 8 %.

Для прискорення процесу відпалу КЧ використовують різні прийоми: підвищують температуру витримки, модифікують і мікролегуєть чавун присадками алюмінію, бору, титану або вісмуту. Всі ці прийоми сприяють збільшенню числа центрів кристалізації зниження стійкості цементиту.

Ковкий чавун використовують для виготовлення дрібних і середніх тонкостінних відливок відповідального призначення, що працюють в умовах динамічних знакозмінних навантажень (деталі привідних механізмів, коробок передач, гальмівних колодок, шестерень, маточин тощо). Однак ковкий чавун – мало перспективний матеріал із-за складної

технології отримання та тривалості виробничого циклу виготовлення деталей з нього.

Залежно від призначення розрізняють зносостійкі, антифрикційні, жаростійкі і корозійностійкі леговані чавуни.

Хімічний склад, механічні властивості при нормальних температурах і рекомендовані види термічної обробки легованих чавунів регламентуються ДСТУ. У позначенні марок легованих чавунів букви і цифри, що відповідають вмісту легуючих елементів, ті ж, що і в марках сталі.

Зносостійкі чавуни, леговані нікелем (до 5 %) і хромом (0,8 %), застосовують для виготовлення деталей, що працюють в абразивних середовищах. Чавуни (до 0,6 % Cr і 2,5 % Ni) з додаванням титану, міді, ванадію, молібдену володіють підвищеною зносостійкістю в умовах тертя без мастильного матеріалу. Їх використовують для виготовлення гальмівних барабанів автомобілів, дисків зчеплення, гільз циліндрів і ін.

Жаростійкі леговані чавуни ЧХ2, ЧХ3 застосовують для виготовлення деталей контактних апаратів хімічного обладнання, турбокомпресорів, експлуатованих при температурі 690 °C (ЧХ2) і 700 °C (ЧХ3).

Жароміцні леговані чавуни ЧНМШ, ЧНПГ7Х2Ш з кулястим графітом працездатні при температурах 500-600 °C і застосовуються для виготовлення деталей дизелів, компресорів і ін.

Корозійностійкі леговані чавуни марок ЧХ1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х (низьколеговані) володіють підвищеною корозійною стійкістю в газовому, повітряному і лужному середовищах. Їх застосовують для виготовлення деталей вузлів тертя, що працюють при підвищених температурах (поршневих кілець, блоків і головок циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, деталей дизелів, компресорів тощо).

Антифрикційні чавуни використовуються як підшипникові сплави, оскільки представляють групу спеціальних сплавів, структура яких задовольняє правилу Шарпі (включення твердої фази в м'якій основі), здатних працювати в умовах тертя як підшипники ковзання.

Для легування антифрикційних чавунів використовують хром, мідь, нікель, титан.

ДСТУ включає шість марок антифрикційного сірого чавуну (АЧС-1 – АЧС-6) з пластинчастим графітом, дві марки високоміцного (АЧВ-1, АЧВ-2) та дві марки ковкого (АЧК-1, АЧК-2) чавунів. Цим стандартом регламентуються хімічний склад, структура, режими роботи, в ньому також містяться рекомендації щодо застосування антифрикційних чавунів.

Розрізняють перлітні і перлітно-феритні антифрикційні чавуни. Антифрикційні перлітні чавуни (АЧС-1, АЧС-2) та перлітно-феритні (АЧС-3) застосовують при тиску в зоні контакту фрикційних пар до 50 МПа. Чавуни з кулястим графітом АЧВ-1 (перлітний) і АЧВ-2 (перлітно-феритний) застосовують при підвищених навантаженнях (до 120 МПа) [2-5].

2.4. Кольорові метали та сплави

Багато кольорових металів та їх сплавів володіють рядом цінних властивостей: високими пластичністю, в'язкістю, електро- і теплопровідністю, корозійною стійкістю тощо. Завдяки цим якостям кольорові метали та їх сплави займають важливе місце серед конструкційних матеріалів.

З кольорових металів в чистому вигляді і у вигляді сплавів широко використовуються алюміній, мідь, свинець, олово, магній, цинк, титан.

2.4.1. Алюміній та його сплави

Алюміній – метал сріблясто-білого кольору, що характеризується низькою густиною ($2,7 \text{ г/см}^3$), високою електропровідністю, його температура плавлення 660°C . Механічні властивості алюмінію невисокі, тому в чистому вигляді як конструкційний матеріал він застосовується обмежено.

Для підвищення фізико-механічних і технологічних властивостей алюміній легують різними елементами (Cu, Mg, Si, Zn). Залізо і силіцій є постійними домішками алюмінію. Залізо викликає зниження пластичності і електропровідності алюмінію. Силіцій, як і мідь, магній, цинк, марганець, нікель і хром, відноситься до легуючих добавок, що зміцнюють алюміній.

Залежно від змісту постійних домішок розрізняють:

- алюміній особливої чистоти марки А999 (0,001 % домішок);
- алюміній високої чистоти – А995, А99, А97, А95 (0,005-0,5 % домішок);
- технічний алюміній – А85, А8, А7, А6, А5, А0 (0,15-0,5 % домішок).

Технічний алюміній випускають у вигляді напівфабрикатів для подальшої переробки у виробі. Алюміній високої чистоти застосовують для виготовлення фольги, струмопровідних і кабельних виробів.

Широке застосування отримали сплави на основі алюмінію, що класифікуються за технологією виготовлення; ступенем зміцнення після термічної обробки; експлуатаційними властивостями.

До сплавів нормальної міцності відносяться сплави системи Алюміній + Мідь + Магній (дюралюміній), які маркуються літерою «Д». Дюралюміній (Д1, Д16, Д18) характеризуються високою міцністю, достатньою твердістю та в'язкістю. Для зміцнення сплавів застосовують загартовування з наступним охолодженням у воді. Загартований

дюралюміній піддається старінню, що сприяє збільшенню його корозійної стійкості.

Високоміцні сплави алюмінію (В93, В95, В96) відносяться до системи Алюміній + Цинк + Магній + Мідь. В якості легуючих добавок використовують манган і хром, які збільшують корозійну стійкість і ефект старіння сплаву. Для досягнення необхідних міцносних властивостей сплави загартовують з наступним старінням. З цих сплавів виготовляють високо навантажені зовнішні конструкції в авіабудуванні – деталі каркасів, шасі і обшивки.

Жароміцні сплави алюмінію (АК4-1, Д20) мають складний хімічний склад, леговані залізом, нікелем, міддю і іншими елементами. Жароміцність сплавам надає легування, що уповільнює дифузійні процеси. Деталі з жароміцних сплавів можуть експлуатуватися при температурі до 300 °С.

Для виготовлення деталей методом лиття застосовують алюмінієві сплави систем Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, які для поліпшення механічних властивостей легують титаном, бором, ванадієм. Головною перевагою ливарних сплавів є висока рідиноплинність, невелика усадка, хороші механічні властивості.

Сплави алюмінію з силіцієм (силуміни) отримали найбільше поширення серед алюмінієвих ливарних сплавів у силу своїх високих ливарних властивостей і гарних механічних і технологічних характеристик. Силуміни марок АЛ2, АЛ4, АЛ9 мають високу рідиноплинність, гарну герметичність, достатню міцність, добре обробляються різанням, легко зварюються, чинять опір корозії і стійкі до утворення гарячих тріщин.

Сплав АЛ2 застосовується для виготовлення тонкостінних деталей складної форми при литті в землю: корпуси агрегатів та приладів.

Сплав АЛ4 – високо навантажених деталей відповідального призначення: корпуси компресорів, блоки двигунів, поршні циліндрів та ін.

Сплав АЛ9 – виготовлення деталей середньої навантаженості, але складної конфігурації, а також для деталей, що піддаються зварюванню.

Сплави алюмінію з магнієм (магналіни) – АЛ8, АЛ13, АЛ27, АЛ29 володіють найбільш високою корозійної стійкістю і більш високими механічними властивостями після термічної обробки в порівнянні з іншими алюмінієвими сплавами.

Сплави АЛ8 і АЛ13 є найбільш поширеними, з них виготовляють схильні корозійним впливам деталі морських суден, а також деталі, що працюють при високих температурах (наприклад, головки циліндрів потужних двигунів повітряного охолодження).

Сплави алюмінію з міддю – АЛ7, АЛ12, АЛ19 володіють зниженою корозійної стійкістю та високими механічними властивостями. Сплав АЛ7 застосовують для виготовлення відливок нескладної форми, що працюють з великими напруженнями (головки циліндрів малопотужних двигунів повітряного охолодження).

Сплави алюмінію, міді і силіцію – АЛ3, АЛ4, АЛ6 характеризуються гарними ливарними властивостями, але корозійна стійкість їх невисока.

Сплав АЛ3 широко застосовують для виготовлення відливок корпусів, арматури і дрібних деталей.

Сплав АЛ4 використовується для виливок відповідальних деталей, що потребують підвищеної теплостійкості і твердості.

Сплав АЛ6 застосовують для виливок корпусів карбюраторів і арматури бензинових двигунів.

Сплави алюмінію, цинку і силіцію (типовий представник сплав АЛ11 – цинковий силумін) володіють високими ливарними властивостями і для

підвищення механічних властивостей піддаються модифікуванню. Використовуються для виготовлення відливок складної форми – картерів, блоків двигунів внутрішнього згоряння тощо.

Найбільше застосування з алюмінієвих підшипникових матеріалів отримав сплав АСМ. За антифрикційними властивостями він близький до свинцевої бронзи, але перевершує її за корозійною стійкістю та технологічністю.

Спечені метали. Матеріали на основі алюмінію, що отримані методами порошкової металургії, володіють у порівнянні з ливарними сплавами більш високою міцністю, стабільністю властивостей при підвищених температурах і корозійною стійкістю.

Матеріали з спечених алюмінієвих порошків (САП) складаються з найдрібніших частинок алюмінію і його оксиду Al_2O_3 . Порошок для спікання отримують розпиленням технічно чистого алюмінію з наступним подрібненням гранул у млинах.

Технологічний процес отримання виробів з САП складається з операцій виготовлення заготівель і механічної обробки. Заготівлі отримують методом брикетування (холодним або з підігрівом) порошку з наступним спіканням при температурах 590-620 °C і тисках 260-400 МПа.

Спечені алюмінієві порошки (марок САП-1 – САП-4) застосовують для виготовлення деталей підвищеної міцності і корозійної стійкості для застосування при робочих температурах до 500 °C.

Спечені алюмінієві сплави (САС) отримують з порошків алюмінію з невеликим вмістом Al_2O_3 легованих залізом, нікелем, хромом, манганом, міддю і іншими елементами. Представником цієї групи матеріалів є САС-1, що містить 25-30 % Si і 7 % Ni, і застосовується замість більш важких матеріалів в приладо- та машинобудуванні [2; 4; 8].

2.4.2. Мідь та її сплави

Мідь у чистому вигляді має червоний колір; чим більше в ній домішок, тим грубіше і темніше злам. Температура плавлення міді становить 1083 °С, густина складає 8,92 г/см³.

Домішки справляють істотний вплив на фізико-механічні характеристики міді. За змістом домішок розрізняють марки міді: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М1 (99,90 % Cu), М2 (99,70 % Cu), М3 (99,50 % Cu).

Головними перевагами міді як конструкційного матеріалу є високі тепло- і електропровідність, пластичність, корозійна стійкість в поєднанні з досить високими механічними властивостями. До недоліків міді відносять низькі ливарні властивості і погану оброблюваність різанням.

Легування міді здійснюється з метою надання сплаву необхідних механічних, технологічних, антифрикційних та інших властивостей. Хімічні елементи, які використовуються при легуванні, позначають у марках мідних сплавів наступними індексами: А – алюміній; Внм – вольфрам; Ви – вісмут; В – ванадій; Км – кадмій; Гл – галій; Г – германій; Ж – залізо, Зл – золото ; К – миш'як; Н – нікель; О – олово; С – свинець; Сн – селен; Ср – срібло; Су – сурма; Ти – титан; Ф – фосфор; Ц – цинк.

Латуні – сплави міді, в яких головним легуючим елементом є цинк, відносяться до числа матеріалів з високими механічними та технологічними характеристиками.

Залежно від змісту легуючих компонентів розрізняють: прості (подвійні) латуні та багатокомпонентні (леговані) латуні.

Прості латуні маркують буквою Л і цифрами, які показують середній вміст міді в сплаві. Наприклад, сплав Л90 – латунь, що містить 90 % міді, все інше – цинк.

Практичне застосування знаходять латуні, що містять до 45 % цинку. Залежно від його вмісту при невисоких температурах латуні можуть складатися з α - і $\alpha + \beta$ -фаз (рис. 9). При підвищенні температури в сплаві існують β і $\alpha + \beta$ -фази.

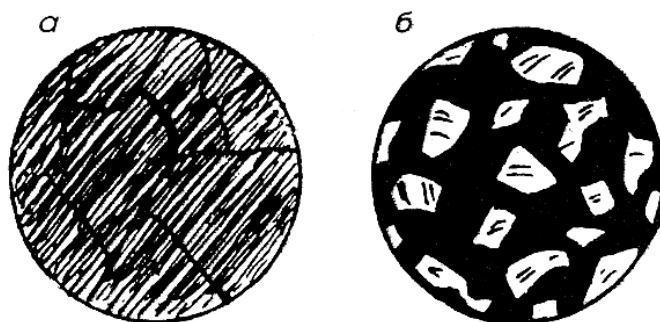


Рис. 9. Характерна мікроструктура однофазної (а) і двофазної латуней (б)

У марках легуваних латуней групи букв і цифр, що стоять після них, позначають легуючі елементи та їх вміст у відсотках. Наприклад, сплав ЛАНКМЦ 75-2-2,5-0,5-0,5 – латунь, що містить 75 % міді, 2 % алюмінію, 2,5 % нікелю, 0,5 % силіцію, 0,5 % мангану, все інше – цинк.

В залежності від основного легуючого елемента розрізняють алюмінієві, манганові, нікелеві, олов'яні, свинцеві та інші латуні.

Алюмінієві латуні – ЛА 85-0,6, ЛА 77-2, ЛАМш 77-2-0,05 володіють підвищеними механічними властивостями і корозійною стійкістю.

Манганові латуні – ЛМц 58-2, ЛМцА 57-3-1, що деформуються, в гарячому і холодному стані, мають високі механічні властивості, стійкі до корозії в морській воді та перегрітому парі.

Нікелеві латуні – ЛН 65-5 і інші мають високі механічні властивості, добре обробляються тиском у гарячому і холодному стані.

Олов'яні латуні ЛО90-1, ЛО70-1, ЛО62-1 відрізняються підвищеними антифрикційними властивостями і корозійною стійкістю, добре обробляються.

Свинцеві латуні – ЛС63-3, ЛС74-3, ЛС60-1 характеризуються підвищеними антифрикційними властивостями і добре обробляються різанням. Свинець в цих сплавах присутній у вигляді самостійної фази, практично не змінює структури сплаву.

Бронзи – це сплави міді з оловом та іншими елементами (алюміній, силіцій, манган, свинець, берилій). Залежно від вмісту основних компонентів, бронзи можна умовно розділити на олов'яні, головним легуючим елементом яких є олово, та безолов'яні (спеціальні), що не містять олова.

Бронзи маркують літерами Бр, правіше ставляться літерні індекси елементів, що входять до складу. Потім слідують цифри, що позначають середній вміст елементів у відсотках (цифру, що позначає вміст міді в бронзі, не ставлять). Наприклад, сплав марки БрОЦС 5-5-5 означає, що бронза містить олова, свинцю і цинку по 5 %, все решта – мідь (85 %).

Олов'яні бронзи мають високі антифрикційні властивості, нечутливі до перегріву, морозостійкі, немагнітні.

Для поліпшення якості олов'яні бронзи легують цинком, свинцем, нікелем, фосфором та іншими елементами. Легування фосфором підвищує механічні, технологічні, антифрикційні властивості олов'яних бронз. Введення нікелю сприяє підвищенню механічних і протикорозійних властивостей. При легуванні свинцем збільшується щільність бронз, покращуються їх антифрикційні властивості та оброблюваність різанням, проте помітно знижуються механічні властивості. Легування цинком покращує технологічні властивості. Введення заліза (до 0,09 %) сприяє підвищенню механічних властивостей бронз, однак зі збільшенням ступеня легування різко знижуються їх корозійна стійкість і технологічні властивості.

Алюмінієві бронзи мають високі механічні, антифрикційні та антикорозійні властивості. Ці бронзи знайшли застосування для виготовлення відповідальних деталей машин, що працюють при інтенсивному зношуванні і підвищених температурах.

Кременисті бронзи характеризуються високими антифрикційними і пружними властивостями, корозійною стійкістю. Додаткове легування кременистих бронз іншими елементами сприяє поліпшенню експлуатаційних і технологічних властивостей бронз: цинк підвищує їх ливарні властивості, марганець і нікель покращують корозійну стійкість і міцність, свинець – оброблюваність різанням і антифрикційні властивості. Кременисті бронзи застосовують замість олов'яних для виготовлення антифрикційних деталей, пружин, мембран приладів та обладнання.

Свинцеві бронзи використовують у парах тертя, експлуатованих при високих відносних швидкостях переміщення деталей. Для підвищення механічних властивостей та корозійної стійкості свинцеві бронзи легують нікелем і оловом.

Берилієві бронзи відрізняються високою міцністю, зносостійкістю і стійкістю до впливу корозійних середовищ. Вони забезпечують працездатність виробів при підвищених температурах (до 500 °C), добре обробляються різанням і зварюються. Бронзи цього типу використовують для виготовлення деталей відповідального призначення, що експлуатуються при підвищених швидкостях переміщення, навантаженнях, температурі.

Сплави міді з нікелем підрозділяють на конструкційні та електротехнічні.

Куніалі (мідь-нікель-алюміній) містять 6-13 % Ni, 1,5-3 % Al, решта – мідь. Вони піддаються термічній обробці та застосовуються для

виготовлення деталей підвищеної міцності, пружин і ряду електротехнічних виробів.

Нейзильбери (нікель-цинк- мідь) містять 15 % Ni, 20 % Zn, решта – мідь. Вони мають білий колір, близький до кольору срібла. Нейзильбери добре чинять опір атмосферній корозії. Їх застосовують у приладобудуванні та виробництві годинників.

Мельхіор (мідь-нікель і невеликі добавки заліза і мангану до 1 %) мають високу корозійну стійкість. Їх застосовують для виготовлення теплообмінних апаратів, штампованих і карбованих виробів.

Копель (мідь-нікель-манган) містять 43 % Ni, 0, 5% Mn, решта – мідь. Це спеціальний сплав з високим питомим електроопором, що використовується для виготовлення електронагрівальних елементів [2; 5; 9].

2.4.3. Титан та його сплави

Титан – сріблясто-білий метал низької щільності ($4,5 \text{ г/см}^3$) з високою механічною міцністю, корозійною і хімічною стійкістю. Температура плавлення титану 1660°C , з вуглецем він утворює дуже тверді карбіди. Титан задовільно кується, прокатується і пресується.

У земній корі міститься близько 60 сполук, що містять титан, промислову цінність серед яких мають ільменіт, перовскит і сфен.

Основними способами отримання титану є вибіркова відновлювальна плавка, відновлення тетрахлоридом магнію, переплав титанової губки. Очищення від домішок титану проводять методом зонної плавки.

Механічні властивості титану визначаються ступенем його чистоти. Домішки кисню, азоту та вуглецю, які утворюють з титаном різні сполуки,

справляють істотний вплив на його властивості. До шкідливих домішок відноситься водень, що викликає окрихчення титану.

Для отримання сплавів титану з заданими механічними властивостями його легують різними елементами. У більшості титанових сплавів присутній алюміній. Алюміній підвищує жароміцність і механічну міцність титану. Ванадій, манган, молібден і хром підвищують жароміцності титанових сплавів. Сплави добре піддаються гарячій та холодній обробці тиском, обробці різанням, мають задовільні ливарні властивості, добре зварюються в середовищі інертних газів. Сплави працездатні при температурі до 500 °С.

Залежно від легуючих елементів розрізняють такі типи титанових сплавів: α -, $\alpha+\beta$ і β -сплави, що розрізняються за властивостями. Титанові сплави $\alpha+\beta$ зміцнюється термічною обробкою. Загартування і старіння призводять до зміцнення титанового сплаву завдяки підвищенню вмісту легуючих компонентів у β -фазі. Чим вище вміст легуючих елементів, тим нижче температура мартенситного перетворення при загартуванні. Старіння сплаву при підвищених температурах (480-550 °С) забезпечує збільшення його міцності і твердості (рис. 10). Сплави типу α піддаються рекристалізаційному відпалу при 670-800 °С з метою стабілізації β -фази і зняття наклепу.

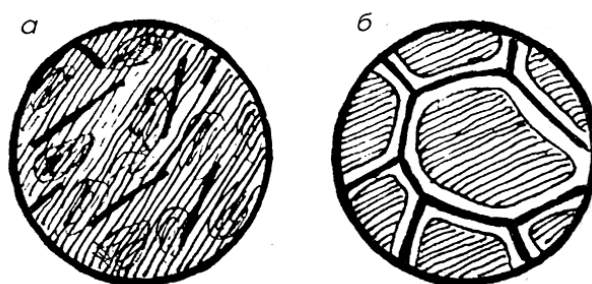


Рис. 10. Характерна структура титанових сплавів:
а – після загартування; б – після загартування і старіння

Титанові сплави класифікують за:

- технологічним призначенням на ливарні і деформуючі;
- механічними властивостями – низької (до 700 МПа), середньої (700-1000 МПа) і високої (більш 1000 МПа) міцності;
- експлуатаційними характеристиками – жароміцні, хімічно стійкі та ін;
- відношенню до термічної обробки – зміцнювальні та не зміцнювальні;
- структурою (α , $\alpha + \beta$ - і β -сплави).

Деформуючі титанові сплави по механічній міцності випускаються під марками:

- низької міцності – ВТ1;
- середньої міцності – ВТ3, ВТ4, ВТ5;
- високої міцності ВТ6, ВТ14, ВТ15 (після загартовування і старіння) [2; 8].

2.4.4. Магній та його сплави

Магній – найлегший (щільність 1,74 г/см³) з технічних кольорових металів, сріблястого кольору, температура плавлення 650 °С. При температурі, трохи більше температури плавлення, легко загоряється і горить яскраво-білим полум'ям. Магній належить до найбільш поширених елементів у природі. У вигляді сполук він входить до складу гірських порід магнезиту, доломіту, карналіту і морської води (бішофіт). Промислове виробництво магнію засноване на електролізі розплавів чистих зневоднених солей. Головною перевагою магнію як машинобудівного матеріалу є низька щільність, технологічність. Проте його корозійна стійкість у вологих середовищах, кислотах, розчинах солей вкрай низька. Чистий магній практично не використовують в якості конструкційного матеріалу із-за його недостатньої корозійної стійкості. Він застосовується

як легуюча добавка до сталей і чавунів і в ракетній техніці при створенні твердих палив.

Експлуатаційні властивості магнію поліпшують легуванням манганом, алюмінієм, цинком та іншими елементами. Легування сприяє підвищенню корозійної стійкості (Zr, Mn), міцності (Al, Zn, Mn, Zr), жароміцності (Th) магнієвих сплавів, зниженню окислюваності їх при виплавланні, литті та термообробці.

Сплави на основі магнію класифікують за:

- механічними властивостями – не високої, середньої міцності; високоміцні, жароміцні;
- технологією переробки – ливарні і деформуючі;
- відношенням до термічної обробки – ті що зміцнюються і не зміцнюються термічною обробкою.

Маркування магнієвих сплавів складається з літери, що позначає відповідний сплав (М), і літери, що вказує технологічний спосіб переробки (А – для деформованих, Л – для ливарних), а також цифри, що позначає порядковий номер сплаву.

Деформуючі магнієві сплави МА1, МА2, МА3, МА5, МА8 застосовують для виготовлення напівфабрикатів – прутків, труб, смуг і листів, а також для штамповин і поковок.

Ливарні магнієві сплави МЛ1, МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6 знайшли широке застосування для виробництва фасонних відливок. Деякі сплави МЛ застосовують для виготовлення високо навантажених деталей в авіаційній та автомобільній промисловості: картери, корпуси приладів, колісні диски, ферми шасі літаків.

Через низьку корозійну стійкість магнієвих сплавів вироби і деталі з них піддають оксидуванню з подальшим нанесенням лакофарбових покриттів [2; 4; 9].

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. За призначенням сталі класифікують:
 - а) конструкційні, інструментальні, спеціальні;
 - б) конструкційні, інвертарні, спеціальні;
 - в) коопераційні, інструментальні, спеціальні.
2. До шкідливих домішок в сталях належать:
 - а) S, P, O; б) S, P, O, N; в) S, P, Si, Na.
3. До корисних домішок в сталях належать:
 - а) манган та сірка; б) манган та фосфор; в) манган та силіцій.
4. Червоноламкість у складі сталей викликає:
 - а) кисень; б) сірка; в) фосфор.
5. Знижує червоноламкість і, віднімаючи кисень, слугує «розкислювачем» сталі: а) манган; б) магній; в) силіцій.
6. Домішки яких елементів викликають синєламкість сталі і як їх вилучити:
 - а) фосфор, для вилучення якого додають алюміній;
 - б) кисень та нітроген, для вилучення яких додають алюміній;
 - в) кисень та нітроген, для вилучення додають арсен.
7. Холодноламкість це:
 - а) різке зниження ударної в'язкості при від'ємних температурах;
 - б) в процесі прокатки сталь розшаровується;
 - в) підвищення крихкості сталі.
8. Силіцій у складі сталі:
 - а) знижує червоноламкість;
 - б) підвищує границю текучості;
 - в) викликає синєламкість.
9. Чавун це сплав:

- а) феруму, вуглецю ($\leq 2,14 \%$) та обов'язковими домішками Si, Mn, P і S;
- б) феруму і силіцію;
- в) феруму, вуглецю і сірки.

10. Чавуни бувають:

- а) сірі, білі, зелені (через вміст хрому);
- б) білі та зелені (через вміст хрому);
- в) сірі та білі.

11. Силіцій у складі чавуну:

- а) сприяє графітизації вуглецю;
- б) є розкислювачем і зв'язує кисень;
- в) підвищує крихкість сталі.

12. Сірі чавуни мають задовільні:

- а) корозійну стійкість та механічну міцність;
- б) ковкість і корозійну стійкість;
- в) ковкість і міцність.

13. Які ви знаєте висококремєневі чавуни:

- а) феросиліди і хлорсиліди;
- б) феросиліди і антихлор;
- в) феросиліди і кальцити.

14. Чим відрізняються білі чавуни від сірих:

- а) в білих чавунах С знаходиться в зв'язаному виді, у формі сполуки Fe_3C , а в сірих чавунах С знаходиться у вільному виді у формі графіту і їх злам має сірих колір;
- б) в сірих чавунах С знаходиться в зв'язаному виді, у формі сполуки Fe_3C , а в білих чавунах С знаходиться у вільному виді у формі графіту;
- в) в білих чавунах С знаходиться в вільному виді у формі графіту і в сірих чавунах також, єдина відмінність полягає в тому, що сірі чавуни мають злам сірого кольору.

15. Масова частка хрому більше у сталі марки:

а) 08X17H5M3; б) 15X18H12C4ТЮ; в) 10X21H21ГБ.

16. При підвищенні температури залізо переходить з однієї форми в іншу за схемою: а) $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$; б) сіре \rightarrow чорне \rightarrow червоне; в) $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$.

17. Число в марках дюралюмінію означає:

а) масову частку міді;

б) середнє значення міцності при розтягуванні у десятках МПа;

в) умовне, що відповідає певному набору властивостей.

18. Сплав, що складається з 30 % хрому, 25 % алюмінію, 20 % міді та заліза це: а) легована сталь; б) латунь; в) сплав металів.

19. Дендрити це:

а) вид дефектів металів;

б) комахи, що гризуть метал;

в) складнокристалічні утворення деревовидної структури.

20. Найвищою якістю та великим вмістом FeO характеризуються:

а) «спокійні» сталі; б) «киплячі» сталі; в) «напівспокійні» сталі.

21. Яка група сталі не відображається в маркуванні:

а) А; б) Б; в) В.

22. Цифра в маркуванні сталі звичайної якості вказує на:

а) вміст домішок карбону в сотих долях %;

б) вміст карбону в десятих долях %;

в) вміст домішок в десятих долях %;

г) вміст карбону в сотих долях %.

23. Вольфрам в формулі сталі позначається як:

а) В; б) Ф; в) Д; г) Н.

24. Сталь, що містить 0,30-0,65 % карбону в своєму складі:

а) «напівспокійна»; б) високої якості; в) середньовуглецева.

25. За призначенням якісні сталі відносяться до:

а) конструкційних; б) інструментальних.

26. Конструкційний матеріал, що містить більше 2,14 % вуглецю це:

а) бронза; б) сталь; в) латунь; г) чавун.

27. Розкислювач «звільняє» чавун від:

а) сірки; б) кисню; в) фосфору.

28. Цифри в маркуванні чавуну вказують на:

а) вміст карбону в сотих долях %;

б) середнє значення при розтягуванні в десятках МПа;

в) відсотковий вміст домішок;

г) номер проби при виготовленні.

29. Половина цього кольорового металу йде на виготовлення сплавів. Цей метал: а) алюміній; б) купрум; в) плюмбум.

30. Дуралюмін – це сплав:

а) Al, Cu, S; б) Al, Mg, Zn; в) Al, Pb, P; г) Al, Mg, Cu.

31. Плюмбум має високу корозійну стійкість в:

а) сульфатній кислоті і розчинах сульфатів;

б) хлорній кислоті і розчинах хлоридів;

в) ортофосфорній кислоті і розчинах фосфатів.

32. Латунь ЛАН 59-3-5 складається із:

а) цинку ~59 %, алюмінію ~3 %, нікелю ~5 %;

б) алюмінію ~5 %, нікелю ~3 %;

в) алюмінію ~0,59 %, нікелю від 3 до 5 %;

г) купруму ~59 %, алюмінію ~3 %, нікелю ~5 %, все інше цинк.

33. Оберіть правильний склад марки ЛЖМц 60-3-2,5

а) сплав феруму ~60 %, мангану від 3 до 2,5 %, все інше домішки;

б) бронза з вмістом купруму ~60 %, легована ферумом та арсеном в межах від 3 до 2,5 %, все інше цинк;

в) латунь з вмістом купруму ~60 %, заліза ~3 %, мангану ~2,5 %, все інше

цинк.

34. У ряду марок сталей починаючи з першого Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5:

- а) зменшується відсотковий вміст карбону, зменшується міцність, збільшується ковкість;
- б) збільшується відсотковий вміст карбону, збільшується пластичність, зменшується в'язкість;
- в) збільшується вміст домішок, зменшується пластичність, збільшується зносостійкість;
- г) збільшується відсотковий вміст карбону, збільшується міцність, зменшується пластичність.

35. Як впливає вміст вуглецю на фізичні властивості сталей?

36. Як впливає вміст сірки на властивості сталей? Яким чином можливо зменшити цей вплив?

37. На які групи поділяються вуглецеві сталі?

38. За якими показниками найчастіше класифікують сталі?

39. Як сполуки визначають приналежність до білого чи сірого чавуну. За допомогою яких домішок регулюють вміст цих сполук?

40. Наведіть приклади використання чавуну у хімічній промисловості та поясніть доцільність його використання з погляду його фізичних та економічних особливостей.

41. Як елементи найчастіше використовують для легування чавуну? До яких змін властивостей призводить їх введення?

42. Які основні властивості алюмінію як конструкційного матеріалу де їх можливе застосування?

43. Чим дюралюмін відрізняється від алюмінію?

44. Як основні недоліки конструкційних матеріалів на основі алюмінію?

45. Де використовуються мідне обладнання та які його переваги?

46. За допомогою яких елементів найчастіше легують мідь? Чого з допомогою цього стараються досягти?
47. Латунь, її основні властивості та позначення марок.
48. Які елементи додають до спеціальних бронз? До чого це призводить?
49. Як ви знаєте сплави міді з нікелем? Де їх найчастіше використовують?
50. Які снують способи класифікації титанових сплавів?
51. Які магнієві сплави ви знаєте? Яке їхнє призначення?
52. Які основні властивості у бронзових сплавів та їх використання у хімічній промисловості.

3. КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Вибір конструкційного матеріалу для виготовлення хімічної апаратури значною мірою визначається агресивністю середовища і умовами роботи даного апарату. Корозійна дія середовища призводить до зниження механічної міцності, твердості, зносостійкості матеріалу і до інших небажаних явищ.

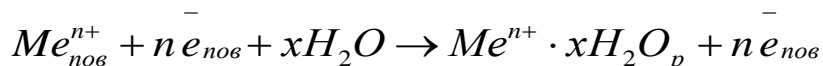
Корозія – руйнування матеріалу при хімічній або електрохімічній дії середовища. Корозійна стійкість – здатність матеріалу протистояти корозійній дії середовища. Це поняття відносне, оскільки корозійна стійкість залежить від виду середовища, концентрації хімічно активного компоненту, температури і ряду інших чинників. Наприклад, вуглецеві сталі цілком стійкі в сірчаній кислоті при масовій концентрації 75 % і вище, проте вони нестійкі в розбавленій кислоті. Багато силікатів цілком стійкі в сірчаній кислоті будь-якої концентрації, але нестійкі в розчинах плавикової кислоти.

Залежно від природи агресивного середовища і умов роботи руйнування металів і сплавів може протікати по хімічному або електрохімічному механізму [3; 8].

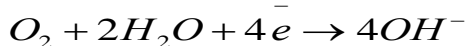
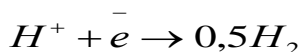
3.1. Електрохімічна корозія

Електрохімічна корозія виникає при дії на метали і сплави (провідники першого роду) електролітів (провідники другого роду), тобто розчинів солей, кислот, лугів, вологих газів і розплавів солей і лугів. Руйнування металів пов'язане з проходженням електричного струму в результаті утворення мікро- або макрогальванічних пар між ділянками металу з різним складом або різною активністю корозійного середовища.

При електрохімічній корозії одночасно протікають два процеси (на аноді катіони металу переходять в розчин, а на поверхні металу залишається еквівалентна кількість електронів):



На катоді надмірні електрони витрачаються в реакції з яким-небудь деполяризатором, яким найчастіше виступають іони водню в кислих середовищах або розчинений кисень. При цьому протікають наступні реакції:



Остання реакція частіше спостерігається в нейтральних середовищах. Електронна провідність металу і іонна провідність електроліту обумовлюють просторове розділення анодного і катодного процесів. Для роботи гальванічного елементу, наслідком якої є корозія металу, необхідна неоднорідність металу або навколишнього середовища: наявність в металі домішок, порушення структури металу або захисної плівки на його поверхні, нерівномірна деформація різних ділянок, непостійність складу розчину і розподілу кисню або неоднакова температура різних ділянок.

Швидкість корозійного руйнування металу залежить від ряду фізико-хімічних, теплових, гідродинамічних і механічних чинників. Найбільший вплив має склад і концентрація розчину, склад, структура і наявність механічної напруги, якість обробки поверхні металу, температура, швидкість руху розчину і його тиск.

Швидкість електрохімічної корозії сильно залежить від концентрації іонів водню (рН середовища). Кожному металу відповідає своє значення рН, при якому метал найбільш стійкий. Так, Та, Мо-пермалой, W стійкі в

кислих і руйнуються в лужних розчинах, а Mn, Fe, Cu, Ni, Cr нестійкі в кислих середовищах, помірно стійкі в нейтральних розчинах і пасивуються в лугах.

На швидкість корозії впливає розчинність продуктів корозії. Якщо продукти корозії добре розчинні на анодних і катодних ділянках, то спостерігається постійна швидкість корозії, наприклад корозія заліза в розчинах хлоридів, сульфатів і нітратів лужних металів. В той же час в розчинах карбонатів, фосфатів і ціанідів на анодних ділянках металів групи заліза утворюються плівки нерозчинних продуктів корозії, що призводить до різкого зниження швидкості руйнування металу. Аналогічно нерозчинні продукти корозії утворюються на анодних ділянках свинцю в розчинах сірчаноокислих солей і розбавленої сірчаної кислоти.

По впливу на швидкість корозії металів одні солі є активаторами, інші – пасиваторами. Активатори (наприклад, галогеніди лужних металів) сприяють утворенню рихлих, проникних плівок на поверхні металу, значно збільшуючи швидкість його руйнування. Пасиватори, до яких відносяться окиснювачі (хромати, біхромати і перманганати), сприяють утворенню щільної захисної плівки на поверхні металу, що зменшує швидкість корозії заліза та сплавів на його основі. Підвищення концентрації солі-пасиватора призводить до зниження швидкості корозії металів. Низькі концентрації солей, що не є окиснювачами, в розчині збільшують швидкість руйнування металу унаслідок зростання електропровідності розчину, а при високих концентраціях швидкість корозії падає із-за зменшення розчинності кисню.

Швидкість електрохімічної корозії металів збільшується із зростанням концентрації безкисневих кислот, наприклад соляної. У сірчаній кислоті з масовою концентрацією 75 % і вище залізо і сплави на його основі достатньо стійкі. У лужних розчинах швидкість корозії заліза

зменшується із зростанням концентрації NaOH до 30 %, подальше збільшення концентрації викликає зростання швидкості корозії.

Швидкість електрохімічної корозії з водневою деполяризацією зростає з підвищенням температури. Складніший вплив температури на швидкість, корозії з кисневою деполяризацією: зростання температури збільшує швидкість дифузійних процесів, електропровідність розчину і швидкість власне хімічної взаємодії, зменшуючи, одночасно, розчинність кисню. У закритих системах, де неможливе виділення кисню, зростання температури викликає майже лінійне збільшення швидкості корозії. У відкритих системах з підвищенням температури кисень виділяється з розчину, внаслідок чого знижується швидкість корозії при високих температурах.

Підвищення тиску, як правило, викликає збільшення швидкості корозії унаслідок зростання вмісту кисню в розчинах.

Швидкість руху розчину впливає на швидкість корозії вельми складно. При малих швидкостях рідини швидкість корозії зростає із-за збільшення надходження деполяризатора – кисню. У широкому інтервалі швидкостей розчину спостерігається пасивація поверхні, в даному випадку швидкість корозії не залежить від швидкості розчину. При високих швидкостях руху рідини швидкість корозії збільшується із-за руйнування захисної плівки. Дуже високі швидкості рідини (десятки метрів в секунду) призводять до виникнення кавітації, яка супроводжується інтенсивним руйнуванням багатьох металів і сплавів [3; 4; 8].

3.2. Хімічна корозія

Хімічна корозія спостерігається при дії сухих газів і рідких неелектролітів на метали, а також при дії електролітів на неметали.

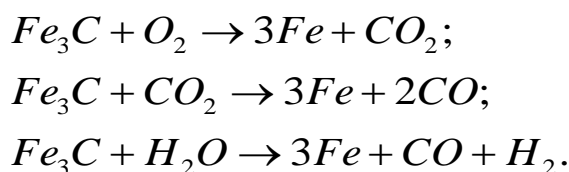
Найчастіше зустрічається її різновид – газова корозія, яка виникає при дії хімічно активних газів на метали при підвищеному тиску і температурах.

Поверхня металу завжди вкрита плівкою оксидів, що утворюються за реакцією:

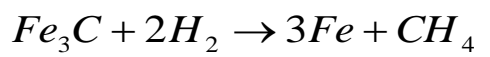


Якщо парціальний тиск кисню в газі більше рівноважного, то реакція протікає у бік утворення оксиду. Підвищення температури, як правило, збільшує швидкість окислення металу. У багатьох випадках оксидна плівка володіє захисними властивостями. Товщина такої плівки залежить від умов її утворення і властивостей металу, вона може змінюватися від 1,5 нм до десятих міліметра. Гарними захисними властивостями володіють щільні оксидні плівки, що міцно зчіплюються з металом, не взаємодіють з агресивним середовищем, за умови, якщо температурні коефіцієнти розширення плівки оксиду і металу близькі між собою. Швидкість газової корозії заліза і сплавів на його основі може бути істотно зменшена при введенні в поверхневий шар Al (алітування), Cr (хромування) або Si (силіціювання).

Різні метали істотно відрізняються своєю стійкістю до дії агресивних газів. Вуглецеві сталі при підвищених температурах втрачають карбон внаслідок протікання наступних реакцій:



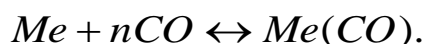
При підвищеному тиску і температурах зв'язування карбону за рахунок гідрування може відбуватися так звана воднева корозія:



Зменшення вмісту вуглецю призводить до погіршення механічної

міцності та зниження межі стійкості металу, що особливо важливо при змінних навантаженнях. Стійкість до водневої корозії збільшується при введенні Cr, Ti, Мо-пермалой, V, оскільки ці метали утворюють карбіди, що є стійкими до водню. Хромисті сталі стійкі до дії водню при вмісті хрому понад 8,4 %.

Різновидом газової корозії є карбонільна корозія – руйнування металів при дії на них оксиду вуглецю унаслідок утворення карбонілів:



Цей процес спостерігається при високому тиску і невисоких температурах. З підвищенням тиску швидкість утворення карбоніла заліза збільшується, а при зміні температури вона проходить через максимум, що спостерігається при 200 °C.

Вуглецева сталь Ст20 і низьколегована сталь 30ХМА малостійкі до карбонільної корозії. Леговані сталі піддаються корозії в незначному ступені, стійкість їх зростає із збільшенням вмісту легуючих елементів. Добре стійкі в середовищі оксиду вуглецю мідь і сплави на її основі (бронза, латунь). Алюміній практично не піддається карбонільній корозії.

Сірчані з'єднання (SO₂, H₂S) і пара сірки при підвищених температурах викликають корозію багатьох матеріалів, особливо небезпечний в цьому відношенні сірководень. Звичайні вуглецеві сталі вже при 300 °C піддаються сильній газовій корозії в атмосфері сірководню. Легування сталі хромом при його вмісті не менше 12 % збільшує корозійну стійкість сталі. Нікель і сталі, що леговані нікелем, малостійкі в атмосфері сірководню і сірчистого газу при температурах вище 600 °C в результаті утворення сульфідів нікелю, які порушують структуру металу.

Алюміній цілком стійкий в атмосфері сірчистих з'єднань. Введення його в сталі (не менше 4 %) підвищує їх стійкість до сірчистих з'єднань. Стійкість сталей до газової корозії помітно збільшується при введенні в

них силіцію.

Помічена підвищена стійкість деяких матеріалів до дії вологого хлору або вологого хлориду водню: вуглецеві сталі можуть застосовуватися до 430 °С, високою стійкістю у вказаних середовищах володіють титан і тантал, а також їх сплави.

Високою корозійною активністю володіють фтор, фторид водню і пари гексафторокремнієвої кислоти. Багато металів і сплавів (Al, Fe, Ti, Zn) нестійкі в даних газових середовищах. Доброю або задовільною стійкістю до дії пари F₂ і HF при температурах до 300-400 °С володіють нікель, монель і мідь, а в середовищі пари H₂SiF₆ при 100 °С – середньолеговані сталі 12X18H9T і 10X17H13M3T.

Хімічна корозія – типовий гетерогенний процес. Зазвичай її швидкість виражається на одиницю поверхні і має розмірність грам на квадратний метр в годину (г/м²·рік). Швидкість руйнування матеріалу частіше гальмується дифузійними стадіями і порядок реакції рівний одиниці:

$$U_f = \frac{dG}{F d\tau} = K \Delta C.$$

Залежність швидкості корозії від температури виражається рівнянням Ареніуса.

Важливе значення має стійкість металів і сплавів до дії кисню або кисневмісних газових сумішей. Жаростійкість (окалиностійкість) визначається швидкістю утворення окалини, тобто кількістю оксидів, що утворюються в одиницю часу на одиницю поверхні металу. Підвищення температури викликає експоненціальне зростання швидкості окислення металу відповідно до рівняння Ареніуса. Високою жаростійкістю володіють Ni, Cr, Ti, Si, Al і сплави на їх основі.

Таблиця 1. Граничні температури застосування металів

Метал	Al	Ni	Ti	Cu	Pb	08X18H10T	15X25H20ГC	X30Ю5
T, °C	400	700	500	400	150	900	900	1100

Жаростійкість сплавів на залізній основі підвищується при введенні Ni, Cr, Al, Si.

Підвищення температури значно зменшує міцність металу. Більшість металів володіє низькою жароміцністю, тобто вони не здатні витримувати тривалі механічні навантаження при підвищених температурах [8; 9].

3.3. Суцільна і локальна корозія

По характеру розповсюдження корозія буває суцільною і локальною (місцевою) (рис. 11).

При суцільній корозії поверхня апарату зношується рівномірно. Це найменш небезпечний з погляду контролю вид корозії.

При місцевій корозії руйнування розповсюджується тільки на окремі ділянки і локалізується на них. Різновидами місцевої корозії є виразкова і точкова. Місцевій корозії піддаються метали з чужорідними включеннями, місця зварки або підвищеного механічного навантаження, сплави грубозернистої структури, коли захисна плівка має неоднакову міцність і хімічну стійкість на різних ділянках із-за освіти гальванічних мікро- і макроелементів (пара).

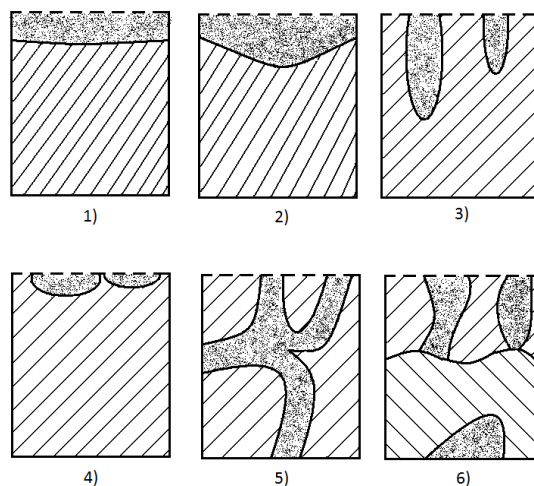


Рис. 11. Види корозії: 1) – суцільна рівномірна; 2) – суцільна нерівномірна; 3) – виразкова; 4) – точкова; 5) – міжкристалітна; 6) – структурно-вибіркова.

Міжкристалітна корозія – руйнування металів по межах зерен (кристалів), при цьому зовнішній вигляд деталі не змінюється. Цей вид корозії є більш небезпечним, ніж точкова корозія. До неї схильні хромвмісні сталі, мідьалюмінієві сплави та ін. Міжкристалітна корозія може бути обумовлена рекристалізацією сплаву, утворенням в ній нової фази: нових зерен і кристалів, що утворюють між собою гальванічні пари. Схильність сплаву до міжкристалітної корозії можна запобігти спеціальною термічною обробкою і введенням деяких легуючих добавок (Ti, Ta, V та ін.). Небезпека виникнення міжкристалітної корозії особливо велика біля зварних швів.

Вибіркова (селективна) корозія є руйнуванням однієї або одночасно декількох структурних сплавів. До такої корозії схильні, головним чином, сірі чавуни і латунь, в якій в першу чергу відбувається розчинення електрохімічних активніших кристалів заліза і цинку (процес графітизації чавунів і знецинкування латуні) [8; 9].

3.4. Корозійна стійкість металів і сплавів

Корозійна стійкість металів і сплавів оцінюється за швидкістю і глибинному показнику корозії.

Швидкість корозії – це кількість металу, що руйнується в одиницю часу з одиниці геометричної поверхні металу:

$$K = \frac{\Delta m}{F \tau},$$

де Δm – втрата маси металу, г;

F – площа поверхні металу, м²;

τ – проміжок часу, год.

Глибинний показник корозії (проникність) – величина, що характеризує зменшення товщини металу протягом року унаслідок корозії. Даний показник відноситься до рівномірної або плямистої корозії.

Глибинний показник (Π , мм/рік) і швидкість корозії K зв'язані наступним відношенням:

$$\Pi = \frac{K 8760}{\rho 1000} = 8,76 \frac{K}{\rho},$$

де ρ – густина металу, г/см³.

При місцевій корозії фактична глибина руйнування металу буде вища розрахункової, оскільки в цьому випадку площа, що уражена корозією, менше загальної площі, дотичної з середовищем.

Згідно ДСТУ 13819-98 матеріали за корозійною стійкістю поділяються на шість груп і оцінюються за десятибальною шкалою

залежно від глибинного показника корозії (табл. 2).

Матеріали, що використовуються для виготовлення хімічної апаратури, повинні володіти балом стійкості не більше 5, а швидкість корозії не повинна перевищувати 0,1 мм/рік. Для невідповідальних деталей (перегородки, мішалки і т.п.) допускається застосування матеріалів з балом стійкості 6, тобто, P повинен не перевищувати 0,5 мм/рік).

Таблиця 2. Корозійна стійкість металів

Бал стійкості	Група стійкості	P , мм/рік
1	абсолютно стійкі	менше 0,001
2		0,001-0,005
3	вельми стійкі	0,005-0,01
4		0,01-0,05
5	стійкі	0,05-0,1
6		0,1-0,5
7	пониженно стійкі	0,5-1,0
8	малостійкі	1,0-5,0
9		5,0-10,0
10	нестійкі	більше 10,0

Немає матеріалів абсолютно стійких до будь-яких середовищ і за будь-яких умов, тому правильний вибір матеріалу визначає довговічність і надійність роботи апарату, вузла або машини. Швидкість корозії того або іншого матеріалу, а отже, і його стійкість, залежать від температури, складу і концентрації розчину.

На рис. 12 показані області застосування різних матеріалів в розчинах гідроксиду натрію. Бал стійкості для матеріалів, що рекомендуються, як правило, не нижче 6, а глибинний показник корозії не перевищує 0,5 мм/рік. Проте при температурі вище 150 °C і концентрації лужного розчину більше 55 % проникність для чавуну СЧЩ досягає 4 мм/рік, що вважається допустимим. При будь-яких температурах і будь-якій концентрації лугу найбільш стійкий нікель, цирконій, сталь Х18Н10Т, а з полімерних матеріалів – фторопласт (до 150 °C). Застосування таких

матеріалів, як вуглецеві сталі, мідь, вініпласт, поліетилен і гума, обмежено температурою 60 °C і концентрацією NaOH не більше 55 %.

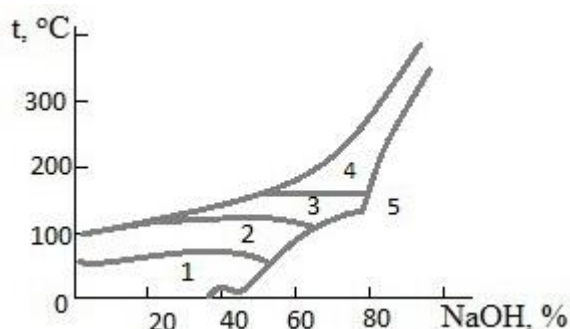


Рис. 12. Области застосування матеріалів в розчинах гідроксиду натрію:

- 1 – чавун, вуглецеві сталі, 12X18H9T, Ni, Cu, вініпласт, поліетилен, гума;
 2 – СЧЩ, 08X18H10T, Ni, хастелой, Н70М27 фторопласт; 3 – СЧЩ, 08X18H10T;
 4 – СЧЩ, Ni, Ag, Pt, Zr; 5 – СЧЩ, 08X18НЮТ, Ni, Н70М27, Ag, фторопласт (до 15U»C)

У сульфатнокислотних розчинах найбільш стійкі феросилід і неорганічні матеріали – кераміка, скло, фарфор, діабаз (рис. 13), при температурах вище 200 °C – тантал. Плюмбум можна застосовувати у відносно розбавлених розчинах H_2SO_4 (до 75 %) і при температурі не вище 80 °C. Вуглецеві сталі достатньо стійкі у 75-98 %-вій H_2SO_4 та при температурах до 60 °C, у зв'язку з чим вони нерідко використовуються як матеріал для теплообмінної апаратури. Фаоліт і антегміт можна застосовувати при температурах середовища до 100 °C, вони більш стійкі в розчинах сірчаної кислоти, чим вуглецеві сталі [8; 9].

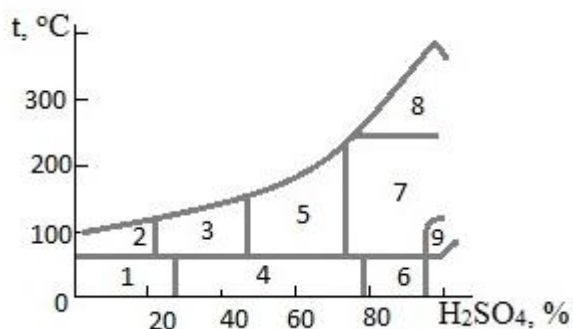


Рис. 13. Області застосування матеріалів в розчинах сірчаної кислоти:

1 – кераміка; 2 – ферросилід, Pb, Cu, хастелой, фторопласт, фаоліт, антегіт, скло;
 3 – феросилід, хастелой, Pb, H65M30Л, фторопласт, графіт, антегіт; 4 – феросилід, Cu, Pb, H65M30, хастелой, фторопласт, фаоліт, антегіт, кераміка; 5 – феросилід, Pb (до 80 °С), фторопласт, фаоліт (до 100 °С), антегіт, кераміка, діабаз; 6 – чавун, вуглецева сталь, скло, діабаз, фторопласт, графіт; 7 – Ta, Pt, фторопласт (до 150 °С), скло, діабаз; 8 – Ta, фарфор, діабаз; 9 – Ta, 14X21H5T, 08X21H6M2T, 12X18H9T

3.5. Способи захисту апаратів від корозії

Один з основних методів боротьби з корозією хімічного устаткування – нанесення на його поверхню захисного покриття з хімічно стійкого до цього середовища матеріалу. В цьому випадку металевий корпус забезпечує міцність апарату, а захисне покриття захищає його від дії середовища.

Існує безліч видів покриттів, основні з яких: плівкове, листове, футерування.

Вибір виду покриття визначається фізико-хімічними умовами роботи апарату, властивостями матеріалу і ступенем складності геометричної форми поверхні, що захищається [3; 4].

3.5.1. Плівкові захисні покриття

Плівкові захисні покриття наносять одним з наступних способів:

- 1) осадження шару корозійностійкого металу електрохімічним методом;
- 2) багатошаровим фарбуванням поверхні лаками, фарбами і бітумами;
- 3) напиленням порошкоподібних полімерних матеріалів з подальшим їх спіканням;
- 4) багатошаровим нанесенням емульсій (суспензій) з полімерних матеріалів, з наступною сушкою і спіканням;
- 5) механічним або електрофоретичним нанесенням шихти з порошкоподібних матеріалів та її спіканням в склоподібний стан (кислототривка емаль).

Товщина плівкового покриття зазвичай складає 0,1-0,5 мм.

До переваг захисного покриття, отриманого електрохімічним методом, відносять простоту його отримання, можливість нанесення шару на поверхні складної конфігурації, збереження корисного об'єму апарату і його маси. Проте цей метод захисту в хімічній промисловості використовують досить рідко. Фарбування апаратів застосовують для захисту їх зовнішньої поверхні від атмосферної корозії. Лакофарбовий матеріал багатокомпонентний. Він складається з суміші плівкоутворюючої речовини з розчинниками, пластифікаторами і пігментами. Плівкоутворююча речовина може розчинятися у воді (водорозчинні полімери) і не розчинятися (рослинні масла, полімери і олігомери, бітуми тощо). Як розчинники використовують скипидар, толуол, ацетон, спирти та ін.

Пластифікаторами слугують хлорований нафталін і дібутилфталат. Вони надають покриттю необхідної пластичності.

Пігменти додають лакофарбному матеріалу необхідний колір, а іноді підвищують механічну міцність. Як пігменти зазвичай використовують

високодисперсні порошки оксидів металів.

Розчини плівкоутворюючих речовин в органічних розчинниках називають лаками, при додаванні в лак пігменту отримують емаль. Лакофарбний матеріал, отриманий на основі водорозчинних плівкоутворюючих з додаванням пігменту, називають фарбою. Основою масляних фарб слугує оліфа.

У хімічному машинобудуванні застосовують ґрунтовки, шпадливо, лаки, емалі, що приготовані на основі природних і синтетичних олігомерів і полімерів (епоксидні, фенолформальдегідні, перхлорвінілові), бітумів, ефірів целюлози (нітрату целюлози).

Технологічні режими забарвлення поверхонь різними лакофарбними матеріалами різні, але загалом процес утворення захисного шару покриття зводиться до наступного:

1) підготовка поверхні – очищення від забруднень (іржі, старої фарби тощо) та знежирення;

2) нанесення на поверхню ґрунтовки – для забезпечення адгезії (зчіплюваності) лакофарбного матеріалу з поверхнею; зачистка абразивом висохлого шару ґрунту;

3) шпадлювання поверхні – для отримання рівної плівки забарвлення; зачистка абразивом висушеної поверхні шпадлива;

4) зафарбовування поверхні (при багатошаровому зафарбовуванні подальші шари наносять після висихання попереднього).

У хімічній промисловості широке розповсюдження мають лак-177, «Кузбаслак» (розчин кам'яновугільного пека у відповідному розчиннику), лаки і емалі на основі перхлорвінілової смоли (ХСЛ, ХСЕ-3, ХСЕ-14, ХСЕ-23 та ін.). «Кузбаслак» – розчин кам'яновугільного пека у відповідному розчиннику. Він стійкий до слабких кислот і лужних середовищ. Лак-177 – це розчин бітумів в органічних розчинниках, його використовують для

виготовлення термостійкої «алюмінієвої» фарби. Перхлорвінілові емалі є розчином перхлорвінілової смоли в летких розчинниках з добавками пластифікаторів і відповідних пігментів. Їх застосовують для забарвлення устаткування в цехах з атмосферою, що містить пари мінеральних кислот і хлора.

Високою кислото-, лужно- і атмосферостійкістю володіють лакофарбні матеріали на основі епоксидних смол (лак Е-4100, емалі Е-5, Е-11, шпатель Е-4020 та ін.). Перед застосуванням до їх складу вводять отверджувач (4-5 % поліетиленполіаміна або гексаметилендіаміну). Епоксидна смола, що є основою цих матеріалів, починає тверднути через 2-3 години після змішування з отверджувачем.

Нанесення полімерів на поверхню металу у вигляді тонкої плівки здійснюють методами напилювання: газополум'яного, вібровихрового, струменевого, струменево-електрофоретичного, теплопроменевого тощо. Таким чином можна отримати захисні покриття з поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, фторопластів та інших полімерів. Суть вказаних методів полягає в тому, що порошкоподібний полімер в суміші із стабілізаторами і наповнювачами, що покращують властивості покриття, наносять на металеву поверхню і сплавляють на ній.

Наприклад, при газополум'яному напилюванні частинки термопластичного полімеру проходять з великою швидкістю через полум'я розпилюючого пістолету, піддаються при цьому короткочасному нагріву до 250-300 °С, розм'якшуються і, потрапляючи на заздалегідь нагріту металеву поверхню, сплавляються на ній в суцільну плівку. Для нанесення покриття цим методом використовують, зокрема, пересувну установку УПН-4Л. Для захисту хімічної апаратури методом струменевого напилювання застосовують стаціонарні установки конструкції, що дозволяють механізувати процес нанесення покриття на апаратуру, що має

форму тіл обертання.

Спосіб багат шарового нанесення суспензії використовують для отримання, наприклад, покриття з фторопласту-3М. Спиртову суспензію (концентрації 30 %), що стабілізована поверхнево-активною речовиною з добавкою пластифікаторів, наносять у 10-15 шарів на поверхню, що захищається, пульверизатором в подовжньому і поперечному напрямках до повного покриття поверхні. Сушіння кожного шару проводять при 120 °С протягом 20 хвилин, а стоплення (спікання) покриття – при 260 °С протягом 25-40 хвилин.

Одним з найбільш ефективних способів захисту металів від корозії є емалювання. Процес полягає в нанесенні на внутрішню поверхню сталевих і чавунних апаратів тонкого шару склоподібної маси і випалення її при 800-900 °С. Для отримання склоподібного шару (емалі) як сировину використовують суміш кремнезему, польового шпату і різних глин, які спікають з плавнями (карбонатом, боратом та ін.).

Емалеве покриття можна застосовувати в апаратах, що працюють під тиском до 5 МПа і при температурах середовища від -30 до 300 °С. Воно стійке у всіх кислотах (за винятком плавикової). Швидкість розчинення його в кислотах не перевищує 0,05 мм/рік. Проте в лугах емаль розчиняється з більшою швидкістю, наприклад, 2,7 мм/рік в 10 %-вому розчині NaOH при 100 °С.

Хімічне машинобудування забезпечує випуск емальованої апаратури місткістю до 50 м³ і більше. Емальоване устаткування (колони, холодильники, кристалізатори, замочна арматура та ін.) використовують у виробництві реактивних кислот (сірчаної, соляної) і деяких солей.

Низька теплопровідність емальованого покриття несприятливо впливає на термостійкість апарату, довговічність якого залежить від термостійкості покриття. При різких змінах температури в емалевому шарі

виникають мікротріщини, які з часом утворюють відколи і стають осередками місцевої корозії, тому рекомендується нагрівати і охолоджувати апарат зі швидкістю не більше 1-3 °C/хв. Допустимі швидкості нагріву залежать від конструкції апарату і його розмірів [5; 8].

3.5.2. Листове покриття

Листове покриття проводять наклейкою на поверхню розжарених листів полімерних матеріалів або плакіруванням (обкладанням без наклейки).

Перевагами покриття є порівняно проста технологія робіт по наклейці листів і можливість застосування стандартного листового матеріалу. Однак, поверхня, що захищається, повинна мати просту геометричну форму. В деяких випадках можлива недостатня адгезія клею.

Широко поширене гумування (покриття гумою) апаратів, трубопроводів і арматури. До позитивних якостей таких покриттів слід віднести високу хімічну стійкість гум до ряду агресивних середовищ при температурах до 70-110 °C, високу адгезію покриття до поверхні, що захищається, підвищену здатність до деформації, що забезпечує надійну спільну роботу покриття і поверхні, що захищається, за умов, що змінюються.

Технологічний процес гумування включає наступні операції:

- 1) очищення поверхні від забруднень, промивку бензином, нанесення клею;
- 2) підготовку листів сирової гуми і кромок, промивку їх бензином, нанесення клею;
- 3) обкладання поверхні листами і плющення їх роликами;
- 4) вулканізацію і перевірку якості покриття.

Наклеюванням можна наносити на поверхню, що захищається, листи з вініпласта, поліпропілену, поліізобутилену і поліетилену. Для поліпшення здібності до склеювання поверхню неполярних полімерів (поліетилен) піддають спеціальній обробці (наприклад, хромовою сумішшю). Можна також прищепити до поліетилену інший полімер, що володіє адгезійною здатністю, наприклад полістирол.

Листові матеріали, що клеяться, зокрема жорсткі, із-за великої товщини кріплять на болтах. Болти приварюють до стінки апарату, захищають «ковпаками» з того ж полімеру, приварюючи їх до шару покриття (рис. 14).

Із-за складності технології метод обкладань без наклейки рідко застосовують в хімічній апаратурі. Як при наклеюванні, так і при обкладанні без наклеювання стики окремих листів полімеру сполучають зварюванням лозини або тепловим зварюванням [4; 9].

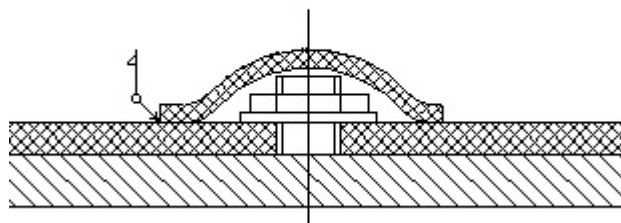


Рис. 14. Схема кріплення обкладань з листового поліетилену до стінки апарату

3.5.3. Футерування апаратів штучними кислототривкими виробами

Плитки цегли з кислототривкої кераміки, плавленого діабазу, фарфору, скла і антегіміта закріплюються на поверхні, що захищається, спеціальними в'язучими, зазвичай силікатною замазкою. Її виготовляють з «рідкого скла» (розчин Na_2SiO_3), фторсиліката натрію Na_2SiF_6

(прискорювач твердіння) і наповнювачів (андезітної, кварцевої, фарфорової муки і інших кислототривких порошків).

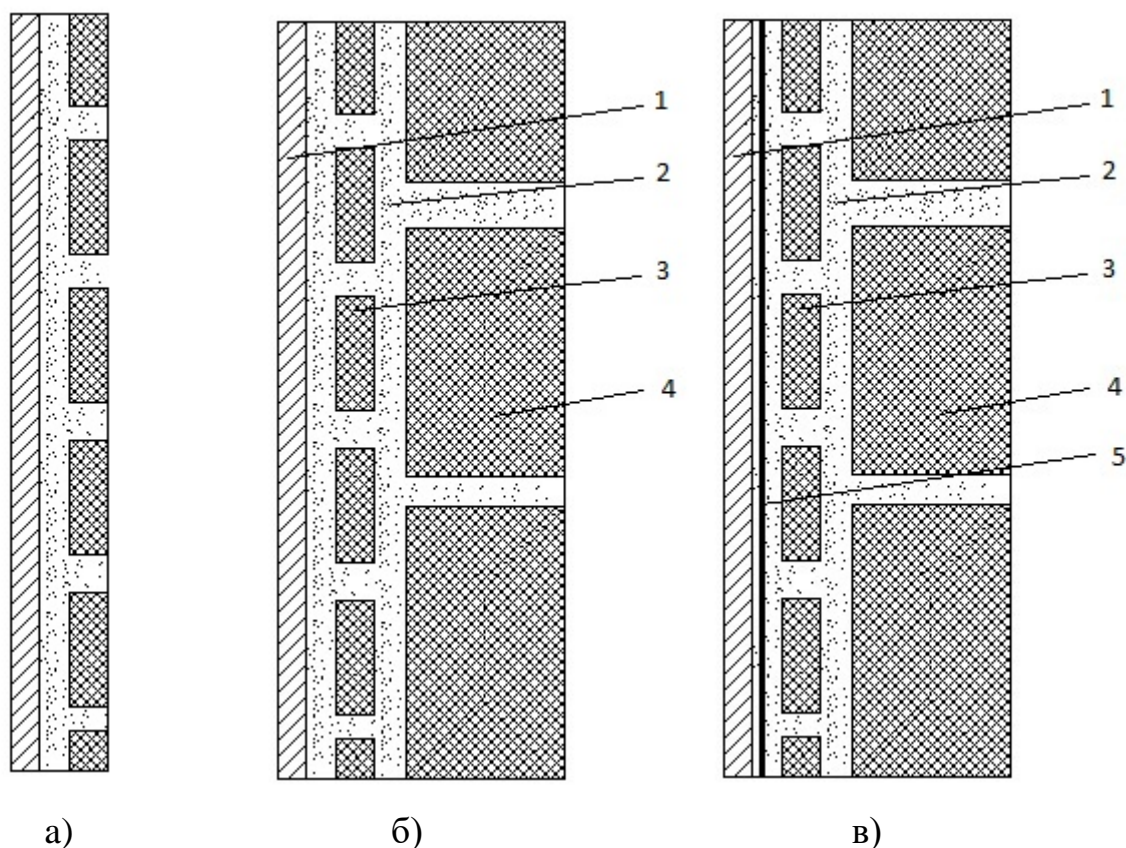


Рис. 15. Схеми футерування:

а) – одношарова; б) – багатошарова; в) – комбінована;

1 – сталева стінка; 2 – в'язучий матеріал; 3 – плитка; 4 – цеглина; 5 – поліізобутилен

По конструкції футерування (рис. 15) ділять на прості (одношарові), багатошарові і комбіновані (багатошарове футерування з підшаром з листового органічного матеріалу).

Одношарове футерування застосовують для захисту поверхні газоходів, підлоги в хімічних цехах, апаратів з парогазовим середовищем, в якому не відбувається конденсації пари.

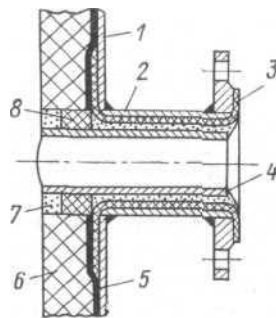


Рис. 16. Схема захисту штуцера:

- 1 – стінка апарату; 2 – штуцер сталевий; 3 – свинцеве обкладка; 4 – вкладиш фаолітовий на діабазовій замазці; 5 – поліізобутилен; 6 – футерування; 7 – діабазова замазка; 8 – азбест шнуровий, змочений в рідкому склі

Багатошарове і комбіноване футерування використовують для захисту стінок апаратів, що працюють в найбільш важких умовах. Футерувальні матеріали (кераміка та ін.) володіють найчастіше певною пористістю, тому при захисті апаратури від високо агресивних середовищ на неї наклеюються непроникні підшари покриття з органічного матеріалу (гуми, поліізобутилену).

Проникність футерувань можна знизити обробленням швів зовнішнього шару замазки на органічній основі (арзаміт, бітумні замазки, епоксидна смола). Застосування в підшарі органічних матеріалів, що володіють сприятливим поєднанням механічної міцності із значною деформувальністю, попереджає утворення тріщин у футеруванні. Одношарове і багатошарове футерування використовують, наприклад, в апаратах сушильно-абсорбційного відділення сірчаноокислотного виробництва, комбіноване футерування – для захисту сушильної башти у виробництві хлору і промивної башти у виробництві сірчаної кислоти.

Переваги футерувань: висока механічна міцність (можна застосовувати при механічній і абразивній діях середовища), висока межа

робочої температури середовища (300-400 °C) і порівняно низька вартість. Недоліки: збільшення маси апарату і зменшення його корисного об'єму.

Захист штуцерів і люків штучними виробами можливий лише при їх діаметрі не менше 500 мм. Практика показала, що найбільш надійною конструкцією захисту штуцерів є вставка в них спеціального вкладання (відрізку труби) з матеріалу, що є хімічно стійким до даного середовища при робочій температурі. Найбільш поширені вкладні з кислототривкої кераміки, діабазового лиття, фаоліту і антегміту. Приклад схеми захисту штуцерів показаний на рис. 16 [8; 9].

3.5.4. Методи катодного захисту і інгібування

Для захисту устаткування від корозії у виробництві неорганічних речовин досить часто застосовують методи катодного захисту і інгібування (гальмування) корозійних процесів. Метод катодного захисту використовують при захисті від корозії підземних трубопроводів для транспорту електrolітів і води. Його зазвичай поєднують з бітумною ізоляцією трубопроводів. Для захисту від корозії розсолопроводів перед укладанням в землю їх покривають бітумом, що не завжди забезпечує надійного захисту. На ділянках з дефектами покриття розвиваються інтенсивні корозійні процеси, для приглушення яких металевий трубопровід сполучають з катодом джерела постійного або випрямленого струму; позитивний полюс приєднують до анодного заземлення, розташованого паралельно трубопроводу на відстані 60-100 м від нього. Заземлення представляє собою декілька сталевих труб, що зариті вертикально в землю на відстані 5-6 м один від одного і сполучаються між собою смуговим залізом. Як джерело струму застосовують селенові випрямлячі напругою 22-24 В.

За наявності різниці потенціалів між розсолопроводом і анодним заземленням протікає слабкий струм, під дією якого в місцях дефекту на поверхні трубопроводу (катод) відбувається розряд іонів водню і повільне руйнування анодів.

Одна станція катодного захисту потужністю 400 Вт обслуговує трубопровід завдовжки до 4 км. Катодний захист може бути використано також і для приглушення корозії ємкісних апаратів, що містять інші агресивні рідини.

Інгібітори корозії – це речовини, що володіють властивістю зменшувати швидкість корозійних процесів. Наприклад, діетиламін може бути використаний як інгібітор корозії чорних металів. Додавання його у випаровуваний луг при концентрації до 0,016 % уповільнює корозію апаратів в 4 рази. Введення у водний розчини NaCl і CaCl₂, що часто використовуються як охолоджувальні розсоли хромату калія і лугу до 0,2 %, призводить до зниження корозії сталевих трубопроводів у 4-5 разів і дозволяє збільшити термін служби їх до 7-10 років.

Ефективність дії інгібіторів характеризується коефіцієнтом гальмування або ступенем захисту від корозії. Коефіцієнт гальмування показує, в скільки разів зменшується швидкість корозії в результаті дії інгібітору:

$$\gamma = I / I_1,$$

де I і I_1 – швидкість корозії відповідно у відсутність і за наявності інгібітору.

Ступінь захисту (Z , %) характеризує повноту приглушення корозії:

$$Z = [(I - I_1) / I] \cdot 100.$$

Здатність інгібітору захищати певний метал від корозії в тих або інших середовищах залежить від його індивідуальних хімічних

властивостей. На ефективність його дії має вплив температура і концентрація агресивного агента.

Добавка до інгібітору деяких речовин іноді викликає посилення інгібуючої дії. Наприклад, інгібітор ПБ-5 (продукт конденсації аніліну з уротропіном) при концентрації 0,5 % зменшує корозію сталі у 20 %-вій HCl при 20 °C у 42 рази. При додаванні в цю систему 0,2 % 2-пропін-1-ола коефіцієнт гальмування підвищується до 110.

Інгібітор ПБ-5 отримав порівняно широке застосування в промисловості, зокрема для інгібування в соляній кислоті. Суміш інгібітору ПБ-5 з уротропіном рекомендується додавати в 2-6 %-ві розчини кислот, які використовуються для звільнення теплообмінної апаратури від накипу (при концентрації цих речовин до 0,5 % при 60-80 °C у =40-50). Сам уротропін є кислотним інгібітором корозії не тільки чорних металів, але і алюмінію в соляній кислоті і титану в сірчаній.

Механізм дії деяких інгібіторів (наприклад, ПБ-5) пов'язують з їх здатністю вибірково адсорбуватися на поверхні металу. Швидкість корозії металу обернено пропорційна катодній поляризації (ускладненню) виділення водню. На поверхні металу (але не окалини або накипу) утворюється орієнтована плівка з молекул інгібітору, яка підвищує перенапруження виділення водню і створює високий перехідний опір між розчином і поверхнею металу.

Механізм дії інших інгібіторів пов'язаний з появою на поверхні металу щільних, стійких кристалічних плівок або з процесом нейтралізації речовин (наприклад, іонів водню і кисню), що руйнують захисну плівку.

У содовому виробництві для зменшення корозії чавунних апаратів у виробничі рідини вводять сульфіді, які утворюють на поверхні металу щільну плівку FeS. Наявність в рідинах сульфід-іонів (0,02-0,04 г/дм³) сприяє також «нейтралізації» розчиненого кисню по реакції: $2S^{2-} + 3O_2 =$

2SO_3^{2-} і тим самим оберігає від окислення сульфідну плівку. Дотримання «сульфідного режиму» дозволяє знизити швидкість корозії з 1,5 до 0,1-0,2 мм/рік.

Відмінність фізико-хімічних властивостей і механізму дії великої кількості різноманітних речовин-інгібіторів вимагає при індивідуального підходу у кожному конкретному випадку їх застосування [8; 9].

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. За характером розповсюдження корозія буває:
 - а) суцільна, локальна, міжмолекулярна, вибіркова;
 - б) суцільна, локальна, міжкристалітна;
 - в) суцільна, локальна, міжкристалітна, вибіркова.
2. По механізму дії корозію поділяють на:
 - а) хімічну і фізичну;
 - б) молекулярну і міжмолекулярну;
 - в) хімічну і електрохімічну.
3. Суцільна корозія буває:
 - а) рівномірна і нерівномірна;
 - б) точкова і виразкова;
 - в) рівномірна і рівновіддалена.
4. За 10-бальною шкалою стійкості металів і сплавів абсолютно стійкі метали мають швидкість корозії (мм/рік):
 - а) $>0,001$; б) $<0,01$; в) $<0,001$.
5. Локальна корозія буває:
 - а) рівномірна і нерівномірна; б) точкова і виразкова; в) міжмолекулярна і міжкристалічна.
6. Для підвищення корозійної стійкості металічне обладнання:

а) футерують; б) калібрують; в) зондують.

7. Адгезія має місце при:

- а) нанесенні захисних покриттів;
- б) механічному пошкодженні обладнання;
- в) проходженні електричного струму через метал.

8. Корозія це:

- а) середовище, яке спричиняє руйнування;
- б) руйнування внаслідок протікання хімічних і електрохімічних процесів;
- в) здатність металів протистояти впливу зовнішніх факторів.

9. На якому з рисунків зображена точкова корозія?



10. Воднева, киснева, сірководнева, атмосферна. Це види

- а) електрохімічної корозії; б) хімічної корозії; в) корозії.

11. Матеріал із балом корозійної стійкості 10:

- а) руйнується внаслідок корозії зі швидкістю більше 10 мм на рік;
- б) руйнується внаслідок корозії зі швидкістю менше 10 мм на рік;
- в) не руйнується в концентрованих розчинах HCl , HNO_3 та NaOH .

12. Матеріали із балом корозійної стійкості 1:

- а) нестійкі; б) стійкі; в) абсолютно стійкі.

13. Як називається руйнування поверхні металу внаслідок перебігу хімічних та/або електрохімічних процесів?

14. Як називається здатність металу (сплаву) протидіяти впливу навколишнього середовища?

15. Поясніть стійкість алюмінію до корозії.

17. Чим відрізняються рівномірний та нерівномірний типи корозії?
18. Яка характерна відмінність місцевої корозії?
19. Який вид корозії є найменш небезпечним з точки зору контролю?
20. Які метали піддаються місцевій корозії?
21. Поясніть суть мікроскопічної корозії.
22. Через наявність яких хімічних елементів сталі піддаються мікроскопічній корозії?
23. Яке місце на поверхні металу найбільш піддається корозії?
24. Чи переходить вибіркова корозія з одного виду в інший?
25. Які матеріали піддаються вибірковій корозії?
26. Як впливає процес графітизації чавунів і знецинкування латуні на стійкість до вибіркової корозії?
27. Назвіть види хімічної корозії.
28. Як виражають швидкість рівномірної корозії?

4. НЕМЕТАЛІЧНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ВИРОБНИЦТВІ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

4.1. Неорганічні неметалічні матеріали

Неорганічні корозійностійкі матеріали широко використовуються в хімічній промисловості для захисту апаратури. У багатьох випадках вони успішно замінюють дефіцитні і дорогі високолеговані сталі і сплави, забезпечуючи в той же час довговічність служби апаратури і надійність її роботи. Ці матеріали володіють рядом специфічних властивостей; а) низькою механічною міцністю на розтягування і досить високою на стиснення; б) низькою теплопровідністю; в) значно меншим температурним коефіцієнтом лінійного розширення в порівнянні з металами; г) високою теплостійкістю.

У промисловості знаходять застосування як матеріали природного походження (азбест, андезит, бештауніт, діабаз, базальт), так і штучні (вогнетривка цегла, скло, кераміка і в'язучі силікатні матеріали).

Неметалічні матеріали, особливо неорганічні, використовують для виготовлення хімічного устаткування в набагато меншому об'ємі порівняно з металами і сплавами.

Найбільшого поширення серед неорганічних неметалічних конструкційних матеріалів набули фарфор, азбест, емаль, діабаз, кераміка, скло. Деякі з цих матеріалів використовують для виготовлення хімічних апаратів у виробництвах особливо чистих речовин.

Андезит і бештауніт – гірські породи вулканічного походження. Як і більшість силікатів, вони нестійкі до фторводневої кислоти.

Ці матеріали застосовують для футерування апаратури, що працює в тяжких умовах. Рідше їх використовують як конструкційні матеріали для виготовлення корпусів башт, електрофільтрів і колосникових пристроїв апаратів абсорбції. Андезит і бештауніт застосовують у вигляді щебеню і муки як наповнювачі в кислототривких бетонах і замазках.

Плавлений діабаз отримують обробкою певних гірських порід у мартенівських печах при 1400 °С. Він містить приблизно 48 % оксиду силіцію (IV) і 16 % оксиду алюмінію, є стійким до дії мінеральних кислот, за винятком фторводневої і фторсиліцієвої. Луги його роз'їдають. Кислотостійкість інших силікатних гірських порід складного і непостійного складу, також використовуваних для створення футерувань в кислотостійких апаратах, декілька нижче, ніж у андезиту і бештауніту. Кам'яне литво з діабазу володіє високою стійкістю до абразивного зносу і газонепроникністю. З кам'яного литва виготовляють футерувальні плитки, труби, штуцери та ін.

Базальт – гірська порода, що застосовується головним чином для виготовлення різних деталей шляхом литва після розплавлення в печах при 1400-1500 °С. Кам'яне литво зазвичай містить 47-48 % SiO_2 , 15-16 % Al_2O_3 , 11-12 % FeO і Fe_2O_3 , 6-7 % CaO і 2-4 % K_2O . Воно відрізняється високою міцністю (межа міцності на стиснення 250, на вигин 47 МПа), зносостійкістю і кислотостійкістю (99,3 %) в усіх кислотах, за винятком фторводневої. З кам'яного литва виготовляють футеровану плитку розміром 180x115x18 мм і плити розміром 235x360x30 мм, труби діаметром 200-400 мм, а також фасонні деталі для трубопроводів (патрубки, штуцера, трійники тощо). Крім того, з нього отримують порошок, який використовують як наповнювач кислототривких замазок.

Азбест – природний мінерал тонковолокнистої будови, що містить 41,5-58 % SiO_2 ; 29-40 % MgO ; 2-10 % FeO і Fe_2O_3 , 1,7-12,5 % H_2O .

Зустрічаються два різновиди азбесту – антофіліт і хризотил.

Антофіліт відноситься до кислотостійких матеріалів (кислотостійкість 87,0-88,5 %), його можна застосовувати при температурі 600-800 °С.

Найважливіший з азбестів (до 90 % всього використовуваного) – хризотил. Хризотил в кислотах нестійкий, він є лугостійким матеріалом, застосовувати його можна при температурі до 400 °С.

Азбести володіють низькою теплопровідністю. Їх можна застосовувати як теплоізолятори і прокладки при температурах до 600-800 °С. З азбестів виготовляють листи площею до 1 м² і товщиною від 2 до 12 мм, вогнестійкі тканини, шнури і азбестову вату.

Азбести також використовується у вигляді картону, шнура і тканини як ізолюючий і прокладочний матеріал, а також в різних корозійностійких композиціях як наповнювач на основі органічних смол.

Кислототривку кераміку отримують при випаленні спеціальних глин з добавками піску і польового шпату. Вона містить 50-75 % SiO₂, 20-40 % Al₂O₃, 0,4-2,2 % MgO і CaO, 0,5-3,0 % Na₂O і K₂O, 0,3-1,6 % Fe₂O₃. Кераміка володіє високою міцністю, газонепроникністю і стійкістю до дії мінеральних і органічних кислот. Проте руйнується під дією фторводневої кислоти і лугів, а при високій температурі – під дією фосфорної кислоти. З кислототривкої кераміки виготовляють цеглу, плитку і труби.

Вироби з кераміки отримують формуванням і випаленням спеціально підібраної глини, в яку додають кремнезем і польовий шпат. З кераміки виготовляють кислототривку цеглу, плитки, труби, арматуру, холодильники, колони, відцентрові насоси, ємності, насадки адсорбційних колон.

Недоліками керамічних виробів є їх крихкість і низька механічна міцність. Коефіцієнт теплопровідності кераміки становить ~1,2 Вт/(м·К).

Вона володіє значною поруватістю (3-10 %), тому вироби з кераміки зазвичай покривають зсередини і зовні глазур'ю.

4.2. Полімерні матеріали

Полімерами називають речовини, макромолекули яких складаються з численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури. Молекулярна маса їх становить від 5000 до 1000000. При таких великих розмірах макромолекул властивості речовин визначаються не тільки хімічним складом цих молекул, але й їх взаємним розташуванням.

Макромолекули полімеру являють собою ланцюжки, що складаються з окремих ланок. Довжина ланцюга в кілька тисяч разів більше його поперечного перерізу, тому макромолекулам полімерів властива гнучкість (яка обмежена розміром сегментів – жорстких ділянок, що складаються з декількох ланок). Гнучкість макромолекул є однією з відмінних особливостей полімерів.

Атоми, що входять в основний ланцюг, пов'язані міцним хімічним (ковалентним) зв'язком. Енергія хімічних зв'язків складає 330-360 кДж/моль, а сили міжмолекулярної взаємодії, що мають фізичну природу, значно менше (5-40 кДж/моль). Найбільш сильні міжмолекулярні взаємодії здійснюються за допомогою водневих зв'язків (до 50 кДж/моль). Зчеплення молекул матеріалу за рахунок сил притягнення називається когезією. Макромолекули можуть бути побудовані з однакових за хімічною будовою мономерів (полімери) або різнорідних елементів (сополімери).

Велике значення має стереорегулярність полімеру, коли всі ланки та заступники розташовані в просторі в певному порядку. Це надає матеріалу високих фізико-механічних характеристик у порівнянні з нерегулярними полімерами.

Полімери, що зустрічаються у природі, це – натуральний каучук, целюлоза, слюда, азбест, природний графіт. Синтетичні полімери складають більш чисельну групу.

За складом всі полімери поділяються на органічні, елементорганічні, неорганічні.

Органічні полімери складають найбільш велику групу сполук. Якщо основний молекулярний ланцюг полімерів утворений тільки вуглецевими атомами, то вони називаються карболанцюговими полімерами.

У гетероланцюгових полімерах в основному ланцюзі, крім вуглецю, присутні атоми інших елементів, які істотно змінюють властивості полімеру. Так, атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, атоми фосфору і хлору підвищують вогнетривкість, атоми фтору (навіть у вигляді радикалів) надають полімеру високої хімічної стійкості. Органічними полімерами є смоли і каучук.

Елементорганічні полімери містять у складі основного ланцюга неорганічні атоми (Si, Ti, Al), що з'єднуються з органічними радикалами (CH_3 , C_6H_5 , CH_2). Ці радикали надають матеріалу міцність і еластичність, а неорганічні атоми забезпечують підвищену теплостійкість. У природі таких сполук не зустрічається. Типовим представником елементорганічних полімерів є силіційорганічні сполуки.

До неорганічних полімерів відносяться силікатне скло, кераміка, слюда, азбест. У складі цих сполук вуглецевого скелета немає. Основу неорганічних матеріалів складають оксиди кремнію, алюмінію, магнію, кальцію та ін.

У силікатах існують два типи зв'язків: атоми в ланцюгу з'єднані ковалентними зв'язками (Si-O), а ланцюги між собою – іонними зв'язками. Неорганічні полімери відрізняються більшою щільністю та підвищеною тривалою теплотривкістю. Однак скло і кераміка тендітні, погано

переносять динамічні навантаження. До неорганічних полімерів відноситься також графіт, що представляє собою карболанцюговий полімер.

В хімічній технології використовують окремі види полімерів і поєднання різних груп полімерів, такі матеріали називають композиційними (наприклад, склопластики).

Своєрідність властивостей полімерів зумовлена структурою їх макромолекул. За формою макромолекул полімери поділяються на лінійні (ланцюгоподібні), розгалужені, плоскі стрічкові (сходові), просторові та сітчасті.

Лінійні макромолекули полімеру являють собою довгі зигзагоподібні або закручені в спіраль ланцюжки (рис. 17, а). Лінійні макромолекули з високою міцністю уздовж ланцюга і слабкими міжмолекулярними зв'язками забезпечують еластичність матеріалу, здатність його розм'якшуватися при нагріванні, а при охолодженні знову тверднути (поліетилен, поліаміди тощо).

Розгалужені макромолекули (рис. 17, б), будучи так само лінійними, відрізняються наявністю бічних відгалужень, що перешкоджає їх щільній упаковці, як, наприклад, в поліізобутилені.

Макромолекула сходового полімеру (рис. 17, в) складається з двох ланцюжків, що з'єднані хімічними зв'язками. Сходові полімери мають більш жорсткий основний ланцюг і володіють підвищеною теплостійкістю, більшою жорсткістю, вони нерозчинні у стандартних органічних розчинниках (силіційорганічні полімери).

Просторові або сітчасті полімери утворюються при з'єднанні («зшиванні») макромолекул між собою в поперечному напрямку міцними хімічними зв'язками безпосередньо або через хімічні елементи (радикали). У результаті утворюється сітчаста структура з різною частотою сітки (рис.

17, г). Рідкосітчасті (сітчасті) полімери втрачають здатність розчинятися і плавитися, вони володіють пружністю (наприклад, м'які гуми). Густосітчасті (просторові) полімери відрізняються твердістю, підвищеною теплостійкістю та нерозчинністю. Просторові полімери лежать в основі конструкційних неметалевих матеріалів. К сітчастим полімерам відносяться також пластинчасті (паркетні) полімери (рис. 17, д).

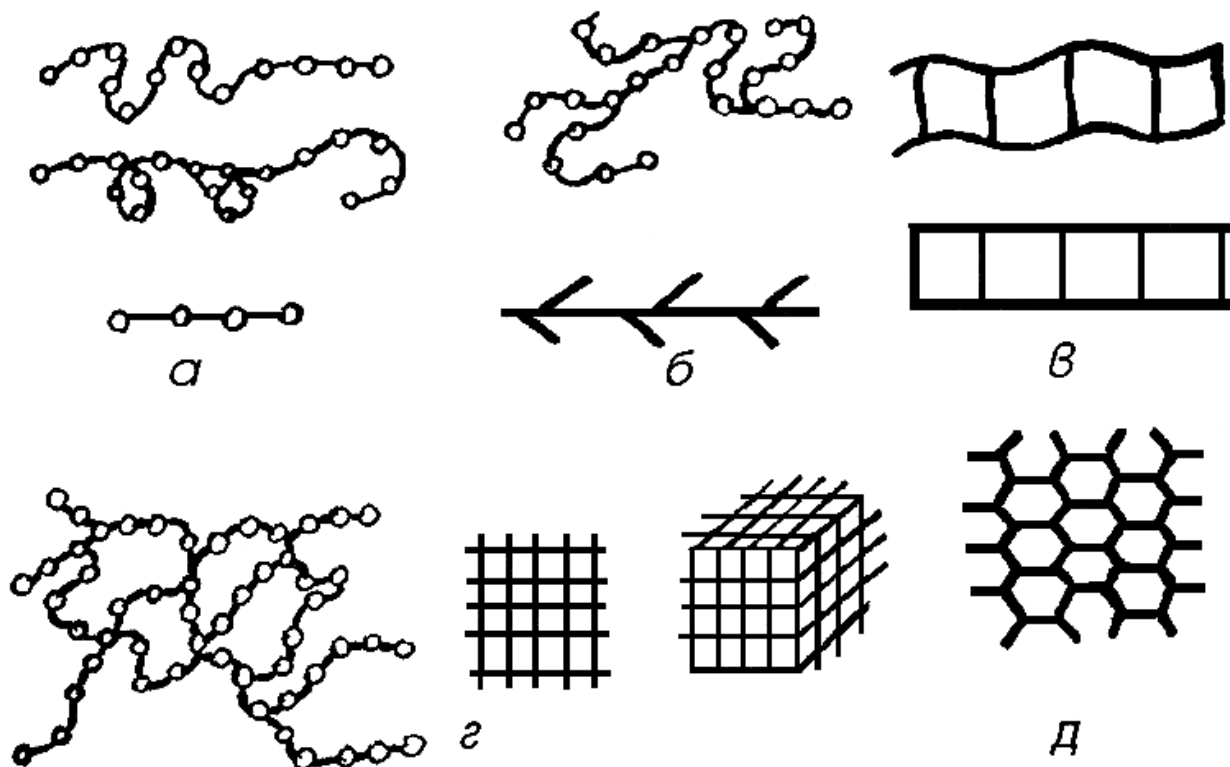


Рис. 17. Форми макромолекул полімерів:

а – лінійна; б – розгалужена; в – сходові; г – просторова, сітчаста; д – паркетна.

За фазовим станом полімери поділяють на аморфні та кристалічні. Макромолекули в полімерах розташовані не хаотично, а мають впорядковане взаємне розташування. Структури, що виникають у результаті різного укладання молекул, називають надмолекулярними. Упорядкованість в структуроутворенні визначається гнучкістю лінійних та розгалужених макромолекул, здатністю їх міняти форму, переміщатися по

частинах; великий вплив мають жорсткість ланцюга і сили міжмолекулярного притягнення.

Аморфні полімери однофазні і побудовані з ланцюгових молекул, що зібрані в пачки. Пачка складається з багатьох рядів макромолекул, що розташовані послідовно один за одним. Пачки здатні переміщатися відносно сусідніх елементів, так як вони є структурними елементами.

Деякі аморфні полімери можуть бути також побудовані із згорнутих у клубки ланцюгів, так званих глобул. Глобулярна структура полімерів дає невисокі механічні властивості (крихке руйнування по межах глобул). При підвищених температурах глобули розгортаються в лінійні утворення, що сприяє підвищенню механічних властивостей полімерів. Структури в цих полімерах флуктуаційні, термодинамічно нестабільні і характеризуються відносно невеликим часом життя.

Кристалічні полімери утворюються в тому випадку, якщо їх макромолекули достатньо гнучкі і мають регулярну структуру. Тоді при відповідних умовах можливий фазовий перехід всередині пачки і утворення просторових ґраток кристалів.

Гнучкі пачки складаються в стрічки шляхом багаторазового повороту пачок на 180° . Потім стрічки, з'єднуючись один з одним своїми плоскими сторонами, утворюють пластини (рис. 18, а). Ці пластини нашаровуються, в результаті чого виходять правильні кристали. У тому випадку, коли утворення правильних об'ємних кристалів з дрібних структурних елементів ускладнене, виникають сфероліти (рис. 18, б). Сфероліти складаються з поперемінних кристалічних та аморфних променів (ділянок). У процесі орієнтації гнучколанцюгових полімерів виходять фібрилярні структури, що складаються з мікрофібрил (рис. 18, в). Між кристалітами знаходяться аморфні ділянки.

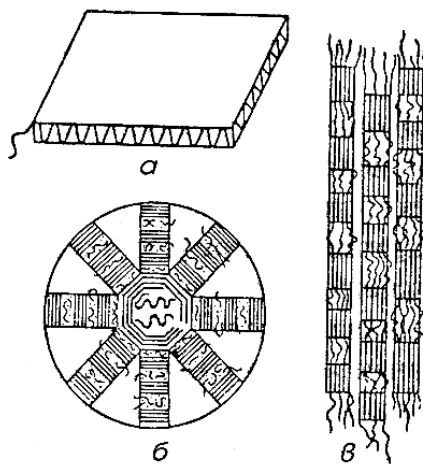


Рис. 18. Схеми надмолекулярних структур полімерів: а – пластинчастий одиничний кристал; б – сфероліт; в – фібрила, що складається з трьох мікрофібрил.

Кристалічні структури є дискретними, організованими, термодинамічно стабільними. Кристалізація відбувається в певному інтервалі температур. За звичайних умов повної кристалізації не відбувається, і структура виходить двофазною. Кристалічність надає полімеру велику жорсткість і твердість, а також теплостійкість. При тривалому зберіганні, експлуатації та переробці надмолекулярні структури можуть зазнавати змін.

За полярністю полімери поділяють на полярні і неполярні. Полярність визначається наявністю в їх складі диполів – роз'єднаних центрів розподілу позитивних і негативних зарядів. Першою умовою полярності є присутність у полімері полярних зв'язків (угруповань типу – Cl, –F, –OH), другим – несиметричність їх структури. За полярністю найпоширеніші зв'язки утворюють такий ряд: $C-H < C-N < C-O < C-F < C-Cl$. У неполярних полімерах дипольні моменти зв'язків атомів взаємно компенсуються.

Неполярні полімери (на основі вуглеводів) є високоякісними високочастотними діелектриками, вони мають високу морозотривкість.

Полярність надає полімерам жорсткість, теплотривкість, але морозотривкість у полярних матеріалів низька.

Всі полімери по відношенню до нагріву підрозділяють на термопластичні і термореактивні.

Термопластичні полімери при нагріванні розм'якшуються, навіть плавляться, а при охолодженні тверднуть, причому цей процес зворотній. Структура макромолекул таких полімерів лінійна або розгалужена.

Термореактивні полімери на першій стадії утворення мають лінійну структуру і при нагріванні розм'якшуються, потім внаслідок протікання хімічних реакцій тверднуть (утворюється просторова структура) і надалі залишаються твердими. Затверділий стан полімеру називається термостабільним.

Особливості будови полімерів значно впливають на їх фізико-механічні та хімічні властивості. Внаслідок високої молекулярної маси вони не здатні переходити в газоподібний стан і утворювати рідини з низькою в'язкістю при нагріванні, а термостабільні полімери навіть не розм'якшуються. З підвищенням молекулярної маси розчинність полімерів зменшується.

Механічні властивості полімерів (пружність, міцність тощо) теж залежать від їхньої структури, фізичного стану, температури тощо. Полімери можуть знаходитися в трьох фізичних станах: склоподібному, вискоеластичному і в'язкотекучому.

У склоподібному стані полімери тверді і аморфні. Атоми, що входять до складу молекулярного ланцюга полімеру, здійснюють коливальний рух близько положення рівноваги; руху ланок і переміщення макромолекул не відбувається.

Вискоеластичний стан, який притаманний не тільки високополімерам, характеризується здатністю матеріалу до великих

зворотних змін форми при невеликих навантаженнях (коливаються ланки, і макромолекула набуває здатності згинатися).

В'язкотекучий стан нагадує рідкий стан, але відрізняється від нього дуже великою в'язкістю (рухлива вся молекула). Зі зміною температури лінійний або розгалужений полімер може переходити з одного фізичного стану в інший.

Полімери з просторовою структурою знаходяться тільки в склоподібному стані. Рідкосітчаста структура дозволяє отримувати полімери і в склоподібному і високо-еластичному станах. Різні фізичні стани полімеру виявляються при змінюванні його деформацій з температурою. Графічна залежність деформації, що розвивається за певний час при заданій напрузі, від температури називається термомеханічною кривою (рис. 19). На кривих є три ділянки, що відповідають трьом фізичним станам. Середні температури перехідних областей називаються температурами переходу. Для лінійного полімеру, що не кристалізується, (крива 1) область I – область пружних деформацій ($\epsilon=2-5\%$), пов'язана зі зміною відстані між частинками речовини. При температурі нижче t_{xp} полімер стає крихким. Руйнування відбувається в результаті розриву хімічних зв'язків у макромолекулі. В області II невеликі напруги викликають переміщення окремих сегментів макромолекул і їх орієнтацію в напрямку діючої сили. Після зняття навантаження молекули в результаті дії міжмолекулярних сил приймають первинну рівноважну форму. Високо-еластичний стан характеризується значними зворотними деформаціями (сотні відсотків). Близько точки t_t , крім пружної і високо-еластичної деформації, виникає і пластична.

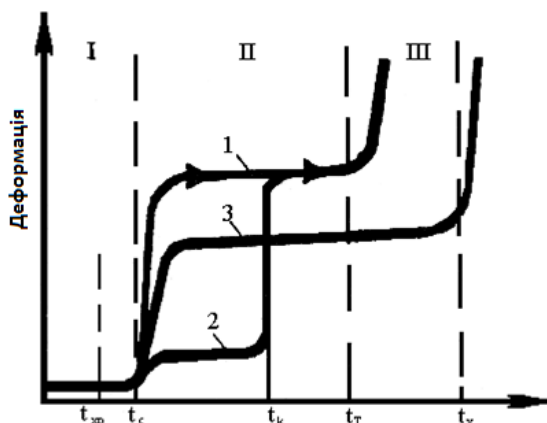


Рис. 19. Термомеханічні криві некристалічного лінійного (1), кристалічного (2) і рідкосітчатого (3) полімерів: t_c , t_k , t_T , t_x – температури склування, кристалізації, початку в'язкої течії і початку хімічного розкладання відповідно, I-III – ділянки склоподібного, високо-еластичного і в'язкотекучого станів

Кристалічні полімери нижче температури плавлення/кристалізації t_k є твердими, але мають різну твердість (рис. 19, крива 2) внаслідок наявності аморфної частини, яка може перебувати в різних станах. При t_k кристалічна частина плавиться, і термомеханічна крива стрибком досягає ділянки кривої 1, що відповідає високо-еластичній деформації некристалічного полімеру.

Рідкосітчастим полімерам (типу гум) відповідає термомеханічна крива типу 3. Вузли сітки перешкоджають відносному переміщенню полімерних ланцюгів. У зв'язку з цим при підвищенні температури в'язкої течії не настає, розширюється високо-еластична область, і її верхнім кордоном стає температура хімічного розкладання полімеру (t_x).

Температурні переходи (t_c і t_T) є одними з основних характеристик полімерів.

Залежність напруги від деформації для лінійних і сітчастих полімерів різна. При дії великих напруг в склоподібних полімерах розвиваються значні деформації, які за своєю природою близькі до високоеластичних. Ці

деформації носять назву вимушено еластичними, а саме явище – вимушеною еластичністю. Вимушено еластичні деформації з'являються в інтервалі температур t_{xp} і t_c , і при нагріванні вище t_c вони зворотні (рис. 20, а). Максимум на кривій відповідає умові $d\sigma/d\varepsilon=0$ і називається межею вимушеної еластичності. У полімерів із щільною сітчастою структурою під дією навантаження виникає пружна і вискоеластична деформація, пластична деформація звичайно відсутня (фенолоформальдегідна смола в стадії резит). У порівнянні з лінійними полімерами пружні деформації сітчастих полімерів складають більшу частину, а вискоеластичних деформацій набагато менше. Природа їх вискоеластичної деформації, як і в лінійних полімерах, полягає в зворотній зміні деформації полімерної молекули, але максимальна деформація при розтягуванні зазвичай не перевищує 5-15 %.

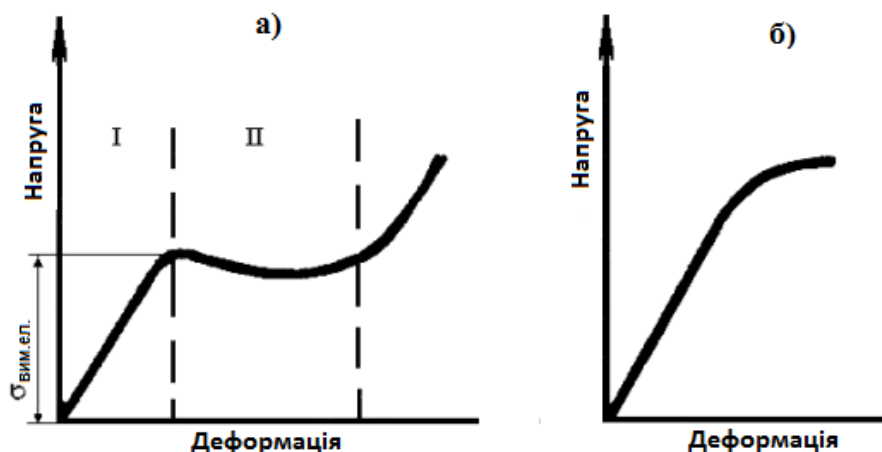


Рис. 20. Діаграма розтягування: а – склоподібного полімеру ($\sigma_{\text{вим.ел.}}$ – межа вимушеної еластичності); I – область пружних деформацій; II – область вискоеластичних деформацій; б – полімеру з щільною сітчастою структурою

Для кристалічних полімерів залежність напруги від деформації виражається лінією з чіткими переходами (рис. 21). На першій стадії (ділянка I) подовження пропорційно діючій силі. Потім раптово у зразку

виникає так звана «шийка», яка подовжується за рахунок більш товстої частини зразка (ділянка II). Після того, як весь зразок перетворився на «шийку», процес переходить у третю стадію (ділянка III), яка закінчується розривом. За структурою та властивостями матеріал «шийки» відрізняється від структури і властивостей вихідного зразка: елементи кристалічної структури орієнтовані в одному напрямку, оскільки відбувається рекристалізація.

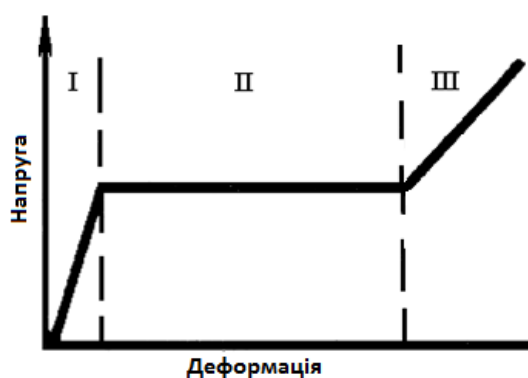


Рис. 21. Залежність напруги від деформації для кристалічного лінійного полімеру

Полімери, як у кристалічному, так і в склоподібному станах можуть бути орієнтовані. Процес орієнтування здійснюється при повільному розтягуванні полімерів, що знаходяться в високоеластичному або в'язкотекучому станах. Макромолекули і елементи надмолекулярних структур орієнтуються в силовому полі і набувають більш впорядкованої структури порівняно з неорієнтованими. Після того, як досягнута бажана ступінь орієнтації, температура знижується, і отримана структура фіксується.

У процесі орієнтації зростає міжмолекулярна взаємодія, що призводить до підвищення температури склування, зниження температури кристалізації та зростання міцності. Властивості матеріалу набувають анізотропності. Розрізняють одновісну орієнтацію, що застосовується для

отримання волокон, плівок, труб та багатовісну, що проводиться одночасно в кількох напрямках (наприклад, в процесі отримання плівок).

Міцність при розриві в напрямку орієнтації збільшується в 2-5 разів, в перпендикулярному напрямку міцність зменшується і становить 30-50 % міцності вихідного матеріалу. Модуль пружності в напрямку одноосьової орієнтації збільшується приблизно в 2 рази. Для високополімерів характерне поєднання високої міцності з достатньою пружністю.

Деякі властивості орієнтованих аморфних та кристалічних полімерів однакові, проте вони розрізняються фазовим станом, тому з часом структура кристалічних полімерів поліпшується.

Механічні властивості полімерів залежать від часу дії і швидкості прикладання навантажень. Це зумовлено особливостями будови макромолекул. Під дією прикладених напружень відбувається як розпрямлення і розкручування кіл (змінюється їх конформація), так і переміщення макромолекул, пачок і інших надмолекулярних структур. Все це вимагає певного часу, і встановлення рівноваги (релаксація) досягається не відразу (від 10 с до кількох діб і місяців). Практичне значення мають випадки релаксації напруги при незмінному відносному подовженні, а також повзучість при постійному навантаженні в статичних умовах. Коли зразок миттєво доведений до якогось значення деформації, що підтримується постійним, відбувається перебудова структури, внаслідок якої спостерігається поступове падіння напруги в матеріалі – її релаксація.

Під старінням полімерних матеріалів розуміється самочинна, незворотна зміна їх найважливіших технічних і технологічних характеристик при експлуатації та зберіганні внаслідок протікання складних хімічних і фізичних процесів. Причинами старіння є світло, тепло, присутність окисників або агресивного середовища, а також немеханічні фактори. Старіння прискорюється при багаторазових

деформаціях, менш істотно на старіння впливає волога. Розрізняють старіння теплове, світлове, озонове і атмосферне.

Випробування на старіння проводиться як в природних умовах, так і штучними прискореними методами. Атмосферне старіння проводиться в різних кліматичних умовах протягом декількох років. Теплове старіння відбувається при температурі на 50 °C нижче температури плавлення (розкладання) полімеру. Позитивність випробування визначається часом, що необхідний для зниження основних показників на 50 % від вихідних.

Сутність старіння полягає в складній ланцюговій реакції, що протікає з утворенням вільних радикалів (рідше іонів), і супроводжується деструкцією і переструктуруванням полімеру. Зазвичай старіння є результатом окислення полімеру киснем повітря. Якщо переважає деструкція, то полімер розм'якшується, і виділяються леткі речовини (наприклад, натуральний каучук). При структуруванні підвищуються твердість, крихкість, спостерігається втрата еластичності, як, наприклад, у бутадієнового каучуку і полістиролу). При високих температурах (200-500°C і вище) відбувається термічне розкладання органічних полімерів, причому піроліз полімерів, що супроводжується випаровуванням летких речовин, не є поверхневим явищем. Молекули, що здатні випаровуватися, утворюються в усьому об'ємі зразка.

Стабільними до термодеструкції є полімери, що володіють високою теплою полімеризації (поліетилен, поліфеноли), та полімери з полярними заступниками (фторполімери). Процеси старіння прискорюються під дією механічних напруг. Стійкими до впливу озону є силіційорганічні сполуки.

У вологій атмосфері стійкі поліетилен, політетрафторетилен, поліамідні волокна, нестійкі натуральний і синтетичний каучуки, віскоза, бавовняні волокна.

Для уповільнення процесів старіння в полімерні матеріали додаються стабілізатори (різні органічні речовини) та антиоксиданти (аміни, феноли тощо).

Загальна тривалість експлуатації поліетилену, що стабілізований сажею, становить більше 5 років. Труби з полівінілхлориду можуть працювати 10-25 років.

4.3. Пластичні маси

Пластмасами (пластиками) називають штучні матеріали, що одержуються на основі органічних полімерних зв'язуючих речовин. Ці матеріали здатні при нагріванні розм'якшуватися, ставати пластичними, і тоді під тиском їм можна надати задану форму, яка потім зберігається. Залежно від природи зв'язуючої речовини перехід формованої маси у твердий стан відбувається або при подальшому її нагріванні, або при подальшому охолодженні.

Обов'язковим компонентом пластмаси є зв'язуюча речовина. В якості зв'язуючих для більшості пластмас використовують синтетичні смоли, рідше застосовують ефіри целюлози. Багато пластмас, головним чином термопластичних, складаються з однієї зв'язуючої речовини, наприклад, поліетилен, органічне скло та ін.

Іншим важливим компонентом пластмас є наповнювачі (порошкоподібні, волокнисті та інші речовини як органічного, так і неорганічного походження). Після просочування наповнювача зв'язуючою речовиною отримують напівфабрикат, який спресовується у монолітну масу. Наповнювачі підвищують механічні властивості, знижують усадку при пресуванні і додають матеріалу ті чи інші специфічні властивості. Для підвищення еластичності і полегшення обробки додають пластифікатори

(ефіри кислот, гліколі, поліефіри, які містять хлор). Для пластифікації каучуків застосовують продукти переробки кам'яного вугілля та нафти (парафін, церезин, нафтові олії), рослинні олії, жирні кислоти.

Вихідна композиція може містити затверджувачі (аміни) або каталізатори (пероксидні сполуки) процесу твердіння термореактивних зв'язуючих, а також інгібітори, що запобігають самочинному твердінню напівфабрикатів.

Для захисту полімерних матеріалів від старіння застосовують стабілізатори. Принцип дії стабілізаторів заснований на гальмуванні процесів руйнування полімерних макромолекул під впливом зовнішніх факторів. Розрізняють стабілізатори наступних типів:

- антиоксиданти (сповільнюють термічне і термоокислювальне руйнування);
- антиозонанти (сповільнюють озонове старіння);
- світлостабілізатори (перешкоджають фотоокислювальному руйнуванню під впливом сонячних променів);
- антиради (що перешкоджають руйнування полімерного матеріалу під впливом радіаційного випромінювання);
- противтомлювачі (сповільнюють процеси втоми матеріалів).

Стабілізатори вводять у невеликих кількостях (0,01-2 % за масою) при синтезі або переробці полімерів.

Необхідний колір виробам з полімерів надають барвники. Вони повинні добре змішуватися з полімерним матеріалом, мати високу дисперсність, володіти достатньою термо-, світло- і атмосферною стійкістю, а також стійкістю до впливу технологічних середовищ. Розрізняють органічні і неорганічні барвники (пігменти). В якості барвників широко застосовуються оксиди металів (TiO_2 , Fe_2O_3), солі металів (синій кобальт, ультрамарин), сажу.

Зшивальні агенти вводять в полімери для досягнення необхідного ступеня зшивки макромолекул, що забезпечує певний комплекс експлуатаційних характеристик полімерних матеріалів.

До зшивальних агентів відносяться тверджувачи смол і вулканізуючі агенти гум. Для зшивання каучуків застосовують сірку, селен, фенольні смоли. Тверджувачами епоксидних, поліефірних, фенольних смол служать багатофункціональні сполуки (гліколі тощо) і речовини, що викликають процеси полімеризації (пероксида та ін.).

Порооутворюючі речовини (порофори) служать для надання полімерному матеріалу звуко- і теплоізоляційних властивостей, зниження об'ємної маси, підвищення точності деталі. При переробці полімерів порофори розкладаються з утворенням газоподібних продуктів.

До спеціальних інгредієнтів відносять:

- технологічні мастильні матеріали, що полегшують витяг полімерних виробів з прес-форми;
- речовини, що зменшують горючість полімерів (антипірени);
- речовини, що знижують статичну електризацію полімерів (антистатики);
- речовини, що усувають біологічну пошкоджуваність полімерів (антимікробні добавки);
- речовини для надання спеціальних властивостей (наприклад, водонепроникності) текстильним виробам.

Властивості пластмас залежать від складу окремих компонентів, їх поєднання і кількісного співвідношення, що дозволяє змінювати характеристики пластиків в досить широких межах.

За характером зв'язуючої речовини пластмаси поділяють на термопластичні (термопласти), що одержані з термопластичних полімерів, і термореактивні (реактопласти), які одержують з термореактивних смол.

Термопласти є зручними при переробці у виріб, дають незначну усадку при формуванні (1-3 %). Матеріал відрізняється великою пружністю, малою крихкістю і здатністю до орієнтації. Зазвичай термопласти виготовляють без наповнювача. В останні роки стали застосовувати термопласти з наповнювачами у вигляді мінеральних та синтетичних волокон (органопласти).

Термореактивні полімери після затвердіння і переходу зв'язуючого в термостабільне стан тендітні, часто дають велику усадку (10-15 %) при переробці, тому в їх склад вводять підсилюючі наповнювачі.

По виду наповнювачів пластмаси поділяють на порошкові (карболіти), з наповнювачами у вигляді деревного борошна, графіту, тальку тощо; волокнисті, з наповнювачами у вигляді сміття, бавовни і льону (волокніти); скляного волокна (скловолокніти); азбесту (азбоволокніти); шаруваті, що містять листові наповнювачі (аркуші паперу у гетинаксі, бавовняна, скляна та азбестова тканина відповідно в текстоліті, склотекстоліті та азботекстоліті, деревний шпон у деревно-шаруватих пластиках); газонаповнені (наповнювач – повітря або нейтральні гази); піно- і поропласти.

По застосуванню пластмаси підрозділяють на силові (конструкційні, фрикційні та антифрикційні) і несилові (оптично прозорі, хімічно стійкі, електроізоляційні, теплоізоляційні, декоративні, ущільнювальні, допоміжні). Однак такий розподіл є достатньо умовним, так як одна і та ж пластмаса може володіти різними властивостями.

Особливостями пластмас є мала густина (1-2 т/м³); низька теплопровідність (0,1-0,3 Вт/мК), значне теплове розширення, яке в 10-30 разів більше, ніж у сталі; високі електроізоляційні властивості; висока хімічна стійкість; фрикційні та антифрикційні властивості. Міцність

силових пластиків порівнювана з міцністю сталі. Пластмаси мають високі технологічні характеристики.

Недоліками пластмас є невисока теплостійкість, низький модуль пружності і ударна в'язкість (в порівнянні з металами і сплавами), а для деяких пластмас – схильність до старіння.

В основі термопластичних пластмас лежать полімери лінійної або розгалуженої структури, іноді до складу полімерів вводять пластифікатори. Для При температурі більше 60-70 °С в термопластах починається різке зниження фізико-механічних властивостей. Більш теплостійкі структури можуть працювати до 150-250 °С, а термостійкі з жорсткими ланцюгами і циклічні структури стійкі до 400-600 °С.

При тривалому статичному навантаженні в термопластах з'являється вимушено-еластична деформація та міцність знижується. Зі збільшенням швидкості деформування не встигає розвиватися високо-еластична деформація, і з'являється жорсткість, іноді навіть крихке руйнування. Більш міцними і жорсткими є кристалічні полімери. Межа міцності термопластів становить 10-100 МПа. Модуль пружності $(1,8-3,5) \cdot 10^3$ МПа. Вони добре чинять опір втомі, їх довговічність вище, ніж у металів. Межа витривалості становить 0,2-0,3 межі міцності. При частотах навантаження понад 20 Гц відбувається розігрів матеріалу і зменшення міцності.

Термопласти поділяють на неполярні і полярні.

До неполярних термопластичних пластмас відносять поліетилен, поліпропілен, полістирол, фторопласт-4 і ін.

Поліетилен $(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ – типовий представник підгрупи поліолефінів. Залежно від умов полімеризації (тиск, вид каталізатора, температура) одержують продукт різної молекулярної маси.

Розрізняють поліетилен:

- високого тиску і низької щільності (ПЕВТ і ПЕНЦ);

- низького тиску і високої щільності (ПЕНТ і ПЕВЩ);
- середнього тиску (ПЕСД);
- високомолекулярний низького тиску (ВМПЕНТ).

Поліетилен володіє рядом цінних властивостей: волого- і газонепроникний, не набухає у воді, еластичний в широкому інтервалі температур, стійкий до дії кислот і лугів, володіє дуже хорошими діелектричними властивостями.

Поєднання високої хімічної стійкості, задовільних механічних властивостей з технологічністю переробки (переробляється усіма відомими способами: литтям під тиском, механічною обробкою, вакуумформуванням, зварюванням тощо) і низькою вартістю визначає широке застосування поліетилену в машинобудуванні, радіотехніці, хімічній промисловості.

Поліетилен низького тиску має більшу механічну міцність і твердість і використовується для виготовлення труб, шлангів, листів, плівки, деталей радіоапаратури, різних ємкостей. Литтям під тиском виготовляють вентилі, крани, зубчасті колеса, які працюють з малим навантаженням. Поліетилен високого тиску застосовують як пакувальний матеріал у вигляді плівки або у вигляді тари, що не б'ється (пляшки, каністри, ящики).

Проте через недостатню механічну міцність для виготовлення деталей хімічних апаратів його застосовують обмежено. Головний недолік поліетилену – його невисока теплостійкість, вироби з нього рекомендується використовувати при температурах не вище 80 °С.

Поліпропілен – синтетичний полімер, характеризується температурою близько 170 °С. У порівнянні з поліетиленом відрізняється більш високою ударною в'язкістю, міцністю, зносостійкістю, низькою паро- і газопроникністю, має високі діелектричні властивості, стійкий до дії киплячої води і лугів, але має низьку термо- і світлостійкість.

Застосовується для виготовлення деталей, що працюють у контакті з агресивними рідинами.

Полівінілхлорид (ПВХ) являє собою високомолекулярний продукт полімеризації вінілхлориду ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$).

В основу класифікації ПВХ покладено спосіб його полімеризації: літери «СВ», «Е», «М» у позначенні марок відповідають суспензійному, емульсійному і масовому (полімеризацією в масі) способам отримання. Наступні за буквою дві цифри вказують на середню молекулярну масу ПВХ, яка визначається константою Фікентчера (К). Завдання, що стоять після цифр літери вказують область застосування і властивості ПВХ: Т – термостабілізований, М – для виготовлення м'яких матеріалів, Ж – для переробки в жорсткі матеріали та вироби, П – пастоутворюючий. Наприклад, ПВХ-М64 – полівінілхлорид, що отриманий полімеризацією в масі, з $K=64-66$.

Пластифікований полівінілхлорид називають пластиком, непластифікований (жорсткий) листовий матеріал – вініпластом.

Пластмаси на основі полівінілхлориду мають високі діелектричні і механічні властивості, еластичність, хімічну стійкість, володіють підвищеною стійкістю до знакозмінних навантажень і вібрацій.

Полівінілхлорид знайшов широке застосування у виробництвах неорганічних речовин, зокрема, при виготовленні плівок, листів, труб, штучної шкіри, лінолеуму, клеїв.

Вініпласт. Перевагами вініпласту є високі механічні властивості, хімічна стійкість, технологічність переробки у вироби, оброблюваність різанням.

Робоча температура вініпласту від 0 до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, при різких коливаннях температури він коробиться, а при нагріванні вище $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ знеміцнюється і втрачає жорсткість. Вініпласт при знижених температурах стає крихким.

Він не горить, але при температурі 120-140 °C починає розм'якшуватися, що використовується при зварюванні виробів з вініпласту. Температура розкладання 160-200 °C. Схильний до старіння під впливом атмосферних впливів і хімічних реагентів.

Вініпласт випускають переважно у вигляді листів і профільного прокату (труб, прутків, куточка тощо). Вироби з вініпласту виготовляють видавлюванням, штампуванням при температурі 130 °C; механічною обробкою; зварюванням; склейкою перхлорвініловим клеєм.

З вініпласту виготовляють ємності в хімічному машинобудуванні, корпуси та сепаратори для акумуляторних батарей, вентилі, клапани, фітинги для трубопроводів, деталі насосів і вентиляторів та інші вироби.

У всі композиції на основі полівінілхлориду вводять стабілізуючі речовини для захисту від тепла і світла. Наприклад, сажа, яка поглинає світло, служить світлостабілізатором.

Фторопласти. Ці полімери складаються переважно з вуглецю і фтору: тетрафторетилену ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$) вінілфторід ($\text{CH}_2=\text{CHF}$) і ін. Перевагами фторопластів є висока стійкість до впливу агресивних середовищ, в тому числі сильних кислот, лугів, за винятком фтористоводневої кислоти. Фторопласти термостійкі – температура їх інтенсивного термоокислювального розкладання становить 400 °C. Фторопласти деяких марок мають унікальні антифрикційні властивості, зносостійкість при терті і без підведення мастильного матеріалу.

Політетрафторетилен (ПТФЕ) – найбільш широко вживаний представник фторопластів: фторопласт-4, тефлон, флюон. ПТФЕ є найстійкішим із всіх машинобудівних матеріалів до впливу агресивних середовищ, кліматичних факторів, мікроорганізмів.

Найбільше застосування в промисловості одержали непрозорі для світла фторопласт-4 і фторопласт-3. Фторопласт-4 хімічно абсолютно

стійкий. На нього чинять дію тільки розплави лужних металів і фтор при високих температурах. Коефіцієнт тертя фторопласту-4 в сім разів нижче коефіцієнта тертя добре полірованої сталі, що сприяє його використанню в машинобудуванні для тертьових деталей без застосування змащення, але при незначних навантаженнях, оскільки фторопласт-4 має холодоплинність, що збільшується з підвищенням температури. Для усунення цього істотного недоліку до складу композицій вводять різні модифікатори і наповнювачі. Фторопласт-4 працює в інтервалі температур від -50 до $+260^{\circ}\text{C}$.

Фторопласт-4 застосовують для виготовлення конденсаторних та електроізоляційних плівок, антифрикційних матеріалів, самозмащувальних вкладишів підшипників, ущільнювальних деталей – прокладок, набивок, що працюють в агресивних середовищах; труб, гнучких шлангів, кранів, тари харчових продуктів; нею використовують у відновній хірургії. Фторопласти також знайшли застосування для захисту металу від дії агресивних середовищ. Покриття виготовляється з суспензій або емульсій з наступним спіканням.

Фторопласт-4 не переробляється у вироби звичайними для термопластів методами, тому що не переходить у в'язкоплинний стан. Вироби з нього отримують спіканням при температурі $350-370^{\circ}\text{C}$ порошку, що спресований за формою деталі.

Розроблено різні модифікації фторопласту, наприклад, фторопласт-4Д, фторопласт-4М (-4Мб,-4Мб-2,-4МД), фторопласт-4НА, які більш технологічні в переробці, допускають можливість виготовлення виробів литтям під тиском.

Для виготовлення плівок, лаків, волокон, тканин, захисних покриттів застосовується фторопласт-3 (фторлон-3, дайфлон, флюоретен). Фторопласт-3 при нагріванні до температури 210°C розм'якшується і

плавиться, що і дає можливість переробляти його методом лиття під тиском.

Полімери складних вінілових ефірів використовуються в якості основи адгезійних матеріалів. Представниками цієї підгрупи є полівінілацетат (ПВА) і полівінілбутираль (ПВБ).

Поліаміди – полімерні матеріали, що містять в основному ланцюзі макромолекулу азоту, і є одним з найпоширеніших конструкційних полімерних матеріалів.

Залежно від складу компонентів, умов полімеризації можливе одержання поліамідів з різними механічними і теплофізичними властивостями. Вітчизняна промисловість випускає поліаміди різних марок: П6 (капрон), П66 (анід), капролон та інші.

Капрон набув найбільшого поширення як відносно дешевий і найменш дефіцитний матеріал з багатьох марок поліамідів. Головною його перевагою як конструкційного матеріалу є поєднання високої міцності, зносо-, тепло- і хімічної стійкості з технологічністю переробки у виріб.

Зносостійкість капрону в кілька разів вище, ніж у сталі, чавуну і деяких кольорових металів. Найкращі антифрикційні властивості має капрон з додаванням 3-5 % графіту.

Для виготовлення деталей з капрону і інших поліамідів найбільш широко використовують метод лиття під тиском. Капрон добре обробляється різанням, клеюється і зварюється. З нього виконують деталі антифрикційного призначення, підшипники, зубчасті колеса, кронштейни, рукоятки, кришки, корпуси, трубопровідну арматуру, прокладки, шайби. Використовують поліаміди також для виготовлення ниток, корду, тканин.

Полістирол являє собою продукт полімеризації стиролу. Випускають наступні види полістиролу і матеріалів на його основі: загального

призначення; ударостійкий; спінюючий, акрілонітрілбутадієнстирольні пластики (АБС); співполімери стиролу.

Полістирол загального призначення – це безбарвний прозорий матеріал, що володіє абсолютною водостійкістю, високими електроізоляційними властивостями, світлостійкістю і твердістю. Полістирол стійкий до лужних і кислих середовищ. Головне застосування полістиролу цього виду – невідповідальні конструкційні деталі, вироби побутового призначення. Відповідальні деталі з цього виду полістиролу не виготовляють зважаючи на його крихкості.

У техніці широко застосовують сополімери стиролу. Сополімеризація покращує властивості чистого полімеру (механічну міцність, теплостійкість). При сополімеризації стиролу з нітрильним каучуком отримують матеріал ПКНД, що володіє великою гнучкістю, і більш міцний матеріал СНП.

Поліметилметакрилат (органічне скло) має прозорість, твердість, стійкість до атмосферних впливів, водостійкість і стійкість до багатьох мінеральних та органічних розчинників, високі електроізоляційні та антикорозійні властивості. Він випускається у вигляді прозорих листів і блоків.

Органічне скло вигідно відрізняється від мінерального низькою щільністю, пружністю, відсутністю крихкості, більш високої прозорістю, легкою формованістю в деталі складної форми, простотою механічної обробки, а також зварюваністю і склеюваністю. Однак органічне скло, на відміну від мінерального має більш низьку поверхневу твердість. Тому поверхня органічного скла легко пошкоджується, і його оптичні властивості різко падають. Крім того, органічне скло легко займається.

Великі вироби з органічного скла методом формування за допомогою вакууму виготовляють з розігрітих листів, дрібні – штампуванням, витяжкою, видуванням гарячим повітрям.

Органічне скло розчиняється в діхлоретані. Розчин органічного скла в діхлоретані використовують як клей для з'єднання скла.

Органічне скло застосовується для виготовлення санітарно-технічного обладнання, світильників, ліхтарів, деталей приладів управління.

Полікарбонати – це термопластичні матеріали, що володіють цінними властивостями: високою поверхневою твердістю, ударною міцністю і теплостійкістю. Вони водо- і морозостійкі (до -100°C), стійки до окислювальних середовищ при підвищених температурах, мають гарні електроізоляційні властивості.

Полікарбонати володіють високою прозорістю і можуть бути використані замість силікатного скла. Застосовуються для виготовлення зубчастих коліс, втулок, клапанів, кулачків тощо, а також електроізоляційних деталей. Полікарбонати переробляються у вироби всіма способами, що застосовуються для термопластів.

Полііміди – це термопластичні пластмаси, які стійкі при нагріванні до 250°C , мають високі електричні характеристики і механічні властивості. Здатні витримувати ударні навантаження, морозостійкі. Вироби з поліімідів успішно експлуатуються при температурі від -200 до 350°C (короткочасно до $+400^{\circ}\text{C}$).

Полііміди хімічно стійкі. Вони не розчиняються в більшості органічних розчинників, на них не діють розбавлені кислоти, мінеральні масла і вода. Руйнування поліімідів викликають концентровані кислоти і луги, а також перегрітий водяний пар.

Полііміди застосовують для одержання конструкційних матеріалів, клеїв, плівок, лаків. З поліімідів виготовляють електроізоляційні плівки світложовтого або коричневого забарвлення. Поліімідні плівки випускають товщиною від 5 до 100 мкм і більше. Використовують як чисті полііміди, так і наповнені скловолокном та іншими термостійкими наповнювачами. Вироби з поліімідів виготовляють литтям під тиском і пресуванням.

Пентапласт – це полімер, що відрізняється хімічної стійкістю і атмосферостійкістю. За водостійкості пентапласт порівняний з фторопластами, поліетиленом до полістиролом.

Кремнійорганічні полімери (силікони). Найважливішими властивостями застосовуваних у хімічному виробництві силіконів є висока термічна стійкість, стійкість до впливу окислювальних і агресивних середовищ, високі діелектричні властивості.

На основі силіконів розроблені клеї, лаки, емалі, мастила. Для підвищення адгезійних властивостей лаків та емалей до складу силіконів вводять епоксидні, поліефірні та фенольні смоли. Силікони широко застосовуються в електротехнічній промисловості, машино-і авіабудуванні. Каучуки, що модифікований силіконом, використовують для отримання морозостійких і теплостійких гум.

Поліетилентерефталат (ПЕТФ) – лавсан, представляє собою складний поліефір. ПЕТФ не розчиняється в більшості, органічних розчинників, має високу температуру плавлення (255-260 °C), стійкий до дії слабких лугів мастил, олій, спиртів, ефірів. В основному лавсан застосовується у вигляді плівок і волокон, які отримують з розплаву.

Поліформальдегід (ПФ) і сополімери формальдегіду СФД і СТД. Матеріали цієї групи характеризуються поєднанням високих показників ударної в'язкості, модуля пружності при розтягуванні і вигинанні. За механічними характеристиками вони перевершують більшість термопластів,

відрізняються високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, малою повзучістю.

Поліформальдегід застосовується при виготовленні деталей машин, в тому числі, деталей вузлів тертя.

Фенолоформальдегідні смоли – продукт взаємодії фенолу з формальдегідом, який володіє високою атмосферо- і термостійкістю, гарними електроізоляційними властивостями. Вони розчиняються в розчинах лугів, фенолу і багатьох органічних розчинниках. Застосовуються для виготовлення просочувальних композицій, клеїв, лаків і як основу композиційних матеріалів.

Фенопласти виготовляють на основі фенолформальдегідних смол. Вони широко поширені завдяки простим і дешевим способам отримання та переробки сировини у виробі. Фенопласти відрізняються високими фізико-механічними властивостями, а також стійкістю до кислот, лугів і органічних розчинників. З фенолформальдегідних смол після введенням наповнювачів отримують прес-порошки, волокнисті і шаруваті пластики.

Серед термореактивних полімерних матеріалів найбільш перспективні ароматичні поліаміди. Промислове значення має ароматичний поліамід – фенілон. Фенілони завдяки високим механічним властивостям, зносо-, термо- і тепло- і хімічній стійкості застосовують для виготовлення деталей вузлів тертя, в тому числі експлуатованих при підвищених температурах (до 220 °C), тисках робочого середовища (до 35 МПа), навантаженнях (до 20 МПа).

Текстоліт – це шаруватий полімерний матеріал, в якому наповнювачем слугує бавовняна тканина, а зв'язуючою речовиною – фенолформальдегідні смоли.

Текстоліт володіє відносно високою механічною міцністю, малою щільністю, високими антифрикційними властивостями, високою стійкістю

до вібраційних навантажень, зносостійкістю і хорошими діелектричними властивостями.

Текстоліт знайшов широке застосування як заміник кольорових металів для вкладишів підшипників ковзання, для виготовлення зубчастих шестерень в автомобілях і технічних виробах для авіа-та машинобудування. Текстолітові шестірні на відміну від металевих працюють безшумно. З електротехнічного текстоліту виготовляють деталі підвищеної міцності електроустановок для роботи на повітрі і у трансформаторному маслі.

Гетинакс виготовляють гарячим пресуванням аркушів паперу, що просочені фенолформальдегідною смолою. Має високі діелектричні властивості, але нижчою, ніж текстоліту, механічною міцністю. Гетинакс випускають під марками А, Б, В, Г. Марки А і Б відрізняються підвищеними діелектричними властивостями, марки В і Г підвищеною механічною міцністю.

Гетинакс застосовується для виготовлення ізоляційних деталей декоративних матеріалів для оздоблювальних робіт, а також для виготовлення фасонних виробів технічного і побутового призначення.

Азботекстоліт виробляють гарячим пресуванням на основі азбестової тканини, що просочена фенолформальдегідною смолою. Для підвищення механічної міцності і теплопровідності азбестова тканина може бути армована мідним дротом.

Азботекстоліт стійкий до різких коливань температури і вологості, відрізняється високими фрикційними, електроізоляційними і теплоізоляційними властивостями. Однак азботекстоліт не слід піддавати дії температури вище 370 °С, щоб уникнути руйнування азбесту через втрату гігроскопічної води, а також контакту з водою і олією, які (як і нагрів) знижують коефіцієнт тертя.

З азботекстоліта виготовляють фрикційні накладки для гальмівних колодок та дисків зчеплення. Замаслені азботекстолітові накладки слід промивати бензином. Накладки дисків зчеплення і гальмівних колодок можуть бути виготовлені з добавкою каоліну.

Карболен представляє собою пластмасу, в якій наповнювачем слугують деревне борошно або глина. Робоча температура експлуатації деталей з карболіту не повинна перевищувати 80 °С, і їх слід оберегати від вологи.

З карболіту виготовляють кришки і ротори переривників-розподільників, ізолятори котушок запалювання та інші електротехнічні деталі хіміко-технологічного устаткування.

Поліарилати – синтетичні полімери, що володіють високою міцністю, термостійкістю (температура розкладу близько 700 °С), вогнестійкістю. Стійкі до впливу ультрафіолетового та іонізуючого випромінювань, розчинів мінеральних і органічних кислот, деяких окисників, бензину.

В хімічній технології поліарилати застосовуються для виготовлення конструкційних деталей, що працюють при високих температурах.

Епоксидні смоли – синтетичні полімери, що мають високу адгезію до металів, скла, кераміки та інших матеріалів. Затверділі епоксидні смоли стійкі до дії лугів, окисників та більшості неорганічних кислот, але руйнуються в органічних кислотах, вуглеводах.

Застосовуються епоксидні смоли як зв'язуючих у композиційних матеріалах, клеях, лаках.

Склопластики виготовляють із синтетичних смол (зв'язуючих) і скляного волокна (армуючий та підсилюючий наповнювач). У якості зв'язуючого найчастіше використовують епоксидні, фенолформальдегідні,

поліефірні та силіційорганічні смоли. Наповнювач – скляне волокно товщиною в тисячні частки міліметра, пронизує кожен міліметр пластмаси.

Склопластики мають особливо високу механічну міцність, теплостійкість, гарні електроізоляційні властивості та стійкість проти дії води, масел, палив, розбавлених кислот і багатьох органічних розчинників.

Із склопластиків виготовляють кузова та інші великогабаритні і високонавантажені деталі.

Газонаповнені пластмаси складаються з найдрібніших порожнин або пор, що відокремлені один від одного тонкою плівкою полімеру. Матеріали, що складаються з замкнутих, не сполучених порожнин, називаються пінопластами, а матеріали, в яких переважають сполучені між собою пори, – поропластами. Коли від матеріалу потрібні високі тепло-і електроізоляційні властивості, застосовують пінопласти. Для звукоізоляції використовують поропласти.

Піно- і поропласти отримують насиченням розплавленої смоли спінювачем, при цьому відбувається спінювання полімеру. Найбільше застосування з пінопластів отримали пінополіуретани. Наприклад, пінополіуретан ПУ-101, що володіє високою еластичністю, використовується для виготовлення автомобільних сидінь і спинок.

Серед неорганічних полімерів найбільше практичне застосування отримали карбон, силіцій, германій, бор і селен. Полімерна форма карбону – графіт використовується не тільки як самостійний машинобудівний матеріал, але і як складова композиційних матеріалів. Графіт та матеріали на його основі застосовують в автомобілебудуванні для виготовлення деталей вузлів тертя (вижимні підшипники зчеплення), рухомих контактів приладів, електрообладнання автомобілів (центральный контакт кришки переривника-розподільника, щітки генератора і стартера) тощо. Силіцій використовується при виготовленні напівпровідникових приладів.

Кристалічний бор представляє собою речовину, за твердістю поступається лише алмазу. Його застосовують для підвищення термостійкості і твердості деталей. Наприклад, для покриття компресійних поршневих кілець.

4.4. Силікати

Під склом розуміють тверді речовини аморфно-кристалічної будови, які отримують шляхом переохолодження розплаву, що складається з різних оксидів, і володіють механічними властивостями твердих тіл при поступовому підвищенні в'язкості (незалежно від складу). Перехід з рідкого стану в склоподібний є оборотним. Хімічний склад скла різний у залежності від вимог, що пред'являються до властивостей скловиробів, від умов експлуатації, а також від способу вироблення.

Склад скла може бути виражений загальною формулою трисиліката $R_2O-RO-6SiO_2$. З одновалентних окислів найчастіше застосовують Na_2O і K_2O , з двовалентних – CaO , MgO , ZnO , PbO , BaO , а також такі, як Al_2O_3 . Під час виробництва скловиробів використовують близько 80 елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва.

Скло являє собою складні системи, які складаються не менше ніж з п'яти окислів, серед яких SiO_2 (72-75 %), CaO (8,5-9,5 %) і Na_2O (13-15 %), а також оксиди фосфору, бору, алюмінію та ін. Назва стекол залежить від вмісту в них тих чи інших оксидів: натрієво-вапняні, калієво-вапняні, фосфатні, боратні, калієво-свинцеві (кришталеві).

Для отримання виробів з необхідними властивостями з урахуванням їх призначення змінюють хімічний склад скла. Так, при заміні оксиду натрію оксидом калію скло набуває підвищеного блиску і чистого відтінку; з такого скла виготовляють сортовий посуд методом видування. При

введенні в калієво-вапняне скло оксидів плюмбуму, що має підвищений коефіцієнт заломлення, одержують вироби, які характеризуються блиском, своєрідною грою і підвищеною щільністю. Ці вироби називають кришталеvими. Кришталеvе скло широко застосовують для виготовлення посуду, а також оптичних виробів.

Скло як аморфно-кристалічна речовина характеризується однорідністю, відсутністю видимих кристалів, а також певних точок плавлення і переходу в рідкий стан, а при охолодженні поступово твердне і в результаті збільшення в'язкості перетворюється на тверде тіло з притаманними йому механічними властивостями. При розм'якшенні не спостерігається поглинання теплоти плавлення, яка у кристалічних тіл легко виявляється по температурній площадці. Процес твердіння не супроводжується утворенням в системі нової фази, тоді як при затвердінні і охолодженні металів у системі, як правило, спостерігається дві фази – рідка і тверда.

Скло не має строго орієнтованого розташування частинок, його структура за всіма правилами однорідна, про що свідчить відсутність подвійного променезаломлення. При нагріванні скла виділяється зона між температурою, вище якої в ньому починають проявлятися властивості, характерні для рідкого стану. Величина температурного інтервалу цієї зони, в якій скло знаходиться у пластичному стані, залежить від хімічного складу скла і коливається від десятків до сотень градусів. Різне скло має різну будову і відрізняється типом хімічних зв'язків, ступенем мікрогетерогенності, характером полімерної структури та іншими особливостями.

За кристалічною гіпотезою будову скла представляється у вигляді каркаса, що складається з безладно розташованих атомів або іонів, які утворюють так звані кристаліти, які складають основну масу скла (рис. 22).



Рис. 22. Кристалічна структура скла

Отже, за наявності просторових груп, що пов'язані між собою, скло аналогічно кристалічним тілам. Різниця полягає лише в тому, що періодичність розташування структурних груп у склі зберігається у меншій мірі, ніж в кристалах. Кристали представляють собою вкрай малі і сильно деформовані структурні утворення. У центральній частині структура кристалітів нагадує структуру правильної кристалічної решітки, а в міру переходу від центру до периферії відбувається поступовий перехід у аморфний стан. Однак яскраво виражених кордонів між кристалічними ґратками і аморфної частиною немає, спостерігається лише поступовий перехід.

На основі кристалічної гіпотези можуть бути пояснені зміна показника світлозаломлення, коефіцієнта термічного розширення та теплового ефекту в області температур розм'якшення скла. Зміни, які спостерігаються зумовлені структурними перетвореннями кристалітів. У аморфних тілах властивості змінюються лише зі зміною хімічного складу.

Згідно структурно-координаційної гіпотези структура скла подібна до кристалічних сполук, але розташування координаційних багатогранників у ній менш впорядковано. Властивості скла залежать від ступеня зв'язаності основного каркасу, який створюється скло

утворювачами, і координаційним станом катіонів-модифікаторів.

За агрегативною гіпотезою впливає, що в склоподібних тілах завжди є угруповання іонів у вигляді обривків ланцюгів або шарів, які складаються з малого числа силіційоксигенових тетраедрів. З безладного поєднання цих агрегатів і утворюється каркас скла.

Структура скла являє собою безперервну просторову сітку, у вузлах якої розташовані іони, атоми чи атомні групи. На відміну від кристалічної ця сітка є неправильною. Сітка скла в даному випадку утворюється за рахунок повторення відповідної елементарної комірки, при цьому немає тієї впорядкованості, яка спостерігається в кристалічній решітці (рис. 23).

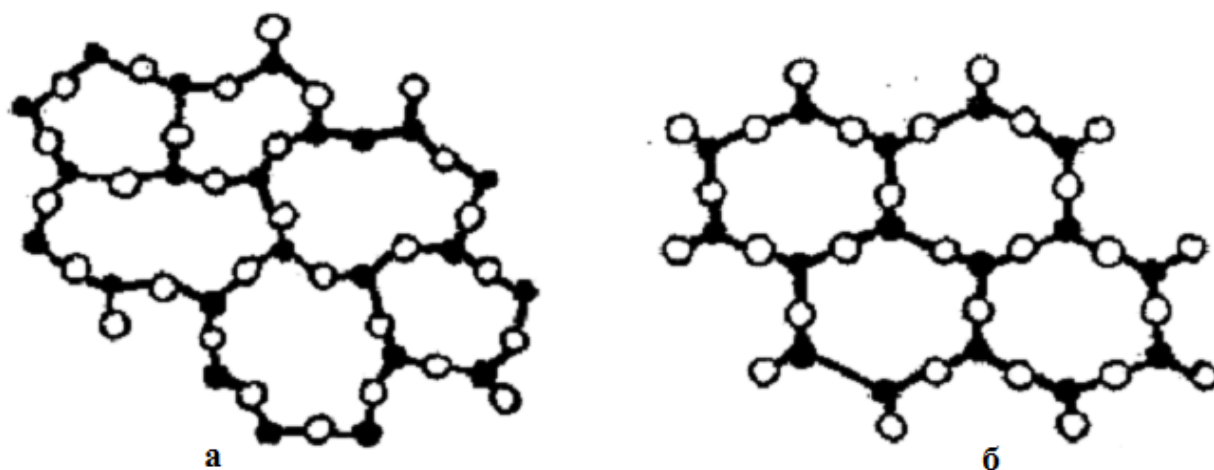


Рис. 23. Структура кремнезему: а – склоподібна, б – кристалічна

Будова скла представляється у вигляді безперервних розгалужених каркасів, які складаються з ланцюжків, утворених силіційоксигеновими аніонами, що пронизаним електричним полем катіонів металів. Каркас силікатного стекла на відміну від органічних має характер полівалентного іонного радикала, а катіони мономірні. Такий каркас утворюється у вигляді багатогранників.

Найкращою гіпотезою будови скла є аморфно-кристалічна, згідно з

якою скло має структуру, що складається, як правило, з упорядкованих кристалітів і неупорядкованої аморфної речовини.

Скло характеризується ізотропністю властивостей. Показники фізичних властивостей скла можуть бути визначені розрахунковим шляхом за правилом адитивності, згідно з яким числове значення властивості скла може бути отримано складанням числових значень окремих оксидів, що входять до його складу. Незважаючи на те, що результати визначення складу за правилом адитивності мають наближене значення, воно дає можливість отримати вироби з необхідними показниками властивостей.

Чим простіше хімічний склад скла, тим ближчі його розрахункові показники до фактичних властивостей. Властивість будь-якого скла дорівнює сумі добутку процентного вмісту кожного з оксидів на коефіцієнт властивості цього оксиду, який розглядається.

Змінюючи хімічний склад скла, можна управляти властивостями готових виробів.

В'язкість скла в рідкому стані, або коефіцієнт внутрішнього тертя, характеризує здатність частинок переміщатися усередині даної речовини в залежності від температури.

В'язкість скла залежить від природи та кількості оксидів, що входять до його складу. Підвищують в'язкість скла оксиди алюмінію, цинку, кремнезем. Оксиди кальцію і бору знижують в'язкість при високих температурах і підвищують при низьких, при цьому скорочується час вироблення виробів. Окисли натрію, калію, магнію, мангану, плюмбуму, барію розріджують скло, в результаті час виготовлення виробів збільшується. При заміні оксиду кальцію окисом магнію в'язкість скла при високій температурі збільшується.

В'язкість скла при варінні (за температури 1450-150 °C) становить 10-

10^2 Па·с, при формуванні ($1180\text{ }^{\circ}\text{C}$) – від 10^3 до 10^9 Па·с. Завдяки високій в'язкості скла з нього можна виготовляти вироби різних розмірів і форми.

Поверхнева напруження істотно впливає на звільнення скломаси від різних газових і повітряних включень у процесі її варіння. Найкраще освітлення скломаси досягається при зниженні поверхневого натягу. У натрієво-силікатного скла зі збільшенням вмісту SiO_2 поверхневий натяг знижується, у свинцево-силікатних зростає. Двовалентні оксиди металів не чинять помітного впливу на нього. Присутність у складі K_2O , PbO , B_2O_3 , Sr_2O_3 сприяє зниженню поверхневого натягу натрієво-вапняного скла.

Поверхневий натяг розплавленого скла в 3-4 рази вище, ніж води, і дорівнює 0,22-0,36 Н/м.

Щільність скла як маса одиниці об'єму залежить від щільності компонентів, які входять до його складу і коливається від 2,2 до $6,0\text{ г/см}^3$. За щільністю можна приблизно визначити природу скла. Наприклад, щільність чисто кварцового скла дорівнює 2,2, натрієво-вапняного 2,5, кришталевого $3,5\text{--}6,0\text{ г/см}^3$.

Найбільшу щільність має скло, що містить оксиди важких металів PbO , BaO , ZnO . Щільність скла залежить також від температури: при підвищенні температури вона знижується. Крім того, на щільність впливає стан кварцу: якщо кварц знаходиться в кристалічному стані, то щільність скла дорівнює $2,65\text{ г/см}^3$, якщо в склоподібному – $2,2\text{ г/см}^3$. Але щільність відпаленого скла приблизно на 0,5 % більше, ніж загартованого.

Величина модуля пружності скла різного хімічного складу коливається в межах 470-860 МПа, кварцового скла – 650-720 МПа. Підвищують модуль пружності CaO , B_2O_3 (до 12 %), а також MgO , ZnO , BaO , PbO ; лужні оксиди знижують його. За допомогою модуля пружності можна характеризувати термічні і міцнісні властивості виробів. Чим більше модуль пружності скла, тим вище його міцність, менше

деформація, яку здатен витримати зразок за рахунок великих напружень, які виникають у ньому і термічна стійкість. Скло неоднаково веде себе при різних видах навантажень. Воно добре чинить опір стисненню і гірше розтягуванню і вигину.

Руйнівне напруження при стисканні для скла дорівнює 50-200 МПа, що в 15-20 разів більше міцності при розтягуванні. На підвищення міцності при стисненні позитивно впливають оксиди алюмінію, магнію, кремнезем. Лужні оксиди мають негативний вплив.

Руйнівне напруження при розтягуванні коливається від 3,5 до 9 МПа і залежить від хімічного складу скла, стану поверхні і діаметра зразка.

Наявність на поверхні найдрібніших тріщин і подряпин різко знижує міцність при розтягуванні. Міцність скляних ниток сильно підвищується зі зменшенням їх діаметра, особливо менше 8 мкм. Так, при зменшенні діаметра нитки від 0,1 до 0,03 мкм руйнівне напруження зростає від 5 до 10 МПа.

Міцність при розтягуванні підвищується при наявності в склі CaO , BaO , PbO і Al_2O_3 . При вмісті оксидів бору до 15 % міцність підвищується, більше 15 % – різко знижується.

Міцність скла може бути підвищена шляхом термічної обробки (загартування), полірування, травлення, іонним обміном та іншими способами. Міцність загартованого скла в 3-4 рази вище, ніж відпаленого, так як при загартуванні у поверхневому шарі створюється велике, але рівномірно розподілене напруження, яке і послаблюють розклинювальною дією тріщини і подряпини.

В результаті попередньої обробки поверхні скла фторводневою кислотою або сумішшю розчинів солей усуваються дефекти поверхні, і зміцнюється поверхневий шар за рахунок зміни хімічного складу, при цьому міцність скла при розтягуванні підвищується в 4-5 разів. Збільшення

міцності скла при повітряному загартуванні пояснюється підвищенням напружень стиску в поверхневих шарах, а також деякими структурними особливостями, що підтверджується визначенням спектрів поглинання.

Міцність скла підвищується і при вогневій поліровці поверхні, в результаті якої заплавлюються мікротріщини.

При кислотному травленні міцність стрижнів з натрієво-вапняного скла зростає з 100 до 2100 МПа. Однак швидке охолодження їх в олії знижує міцність до 700 МПа, що пояснюється утворенням на поверхні скла нових мікротріщин. Після повторного травлення міцність стрижнів відновлюється; при цьому має значення глибина поверхневих тріщин. При глибині травлення 10-15 мкм (при знятті шару скла на цю товщину) міцність підвищується. Перспективним методом зміцнення скла є гарт в кремнійорганічних рідинах з подальшим травленням у 20 %-вому розчині плавикової кислоти. При цьому на поверхні скла утворюється кремстійка полімерна плівка, і усуваються мікротріщини, в результаті чого міцність скла підвищується в кілька разів.

Самим твердим є кварцове, високоглиноземисте і боросилікатне скло, а самими м'яким – кришталеве і багате на лужні оксиди. Чим вище твердість скла, тим менше подряпин і пошкоджень утворюється на поверхні виробів, довше зберігається блиск і вище механічна міцність.

Твердість скла визначають різними методами: вдавленням і дряпання, шліфуванням та ін. За мінералогічною шкалою твердість скла між 5-7 (апетитом і кварцом). Вона може бути підвищена шляхом термічної обробки.

Теплоємність скла залежить від хімічного складу і природи молекулярних зв'язків. Між хімічним складом і теплоємністю існує лінійна залежність. Теплоємність підвищується зі збільшенням вмісту в склі ZnO , LiO і знижується при введенні PbO , BaO . З підвищенням температури вона

збільшується, особливо в інтервалі внутрішньоструктурних перетворень.

Теплоємність скла знаходиться в межах від 0,3 до 1,05 кДж/(кг · °C).

Теплопровідність скла вельми невелика і становить 0,7-1,34 Вт/(м · °C), що в 400 разів менше теплопровідності міді. Вона залежить від хімічного складу скла. При заміні кремнезему іншими оксидами теплопровідність зменшується. З підвищенням температури вона зростає, а при нагріванні до температури розм'якшення скла подвоюється.

Теплопровідність скла позитивно впливає на його термічну стійкість, яка зі збільшенням теплопровідності підвищується. Коефіцієнт термічного розширення залежить від хімічного складу скла і температури. Лужні оксиди різко підвищують його, а MgO помітно знижує, величина термічного розширення скла коливається від $5,8 \cdot 10^{-7}$ (кварцового скла) до $(70-90) \cdot 10^{-7}$ (скло звичайного складу).

Термічне розширення негативно впливає на термічну стійкість скла: чим вона вища, тим гірше скло переносить коливання температури. Зі збільшенням модуля пружності, ступеню неоднорідності скла за складом і товщини виробів термічна стійкість знижується. Високу термічну стійкість мають вироби з малим вмістом лужних оксидів і великою кількістю оксидів бору, титану та ін. Термічна стійкість скловиробів залежить також від стану їх поверхні: за наявності подряпин, тріщин та інших дефектів вона знижується. Для усунення дефектів, а, отже, для підвищення термостійкості вироби піддають термічній обробці з подальшим травленням фторводневою кислотою. Вироби з гострими гранями і виступами мають меншу термостійкість.

Скло значно краще чинить опір швидкому нагріву, ніж різкому охолодженню. Це пояснюється тим, що при швидкому охолодженні в поверхневих шарах виникають великі розтягувальні напруги, а у внутрішніх, ще більш нагрітих, напруження стискання. Чим більше

перепад температур при охолодженні, тим вище ці напруги. Виникаючи в зовнішніх шарах напруги розтягнення не можуть протистояти більш високій напрузі стиснення внутрішніх шарів, і скло швидко руйнується. При швидкому нагріванні в поверхневих шарах скла виникають напруження стиску, у внутрішніх – напруги розтягнення. У даному випадку напруження стискання легко протистоять меншим напруженням внутрішніх шарів, тому вироби не руйнуються. Таким чином, термостійкість скла при швидкому нагріванні вище, ніж при швидкому охолодженні.

Показник заломлення скла залежить від середовища, довжини хвилі падаючого світла і температури. З підвищенням температури він зростає. У межах температури розм'якшення він змінюється в залежності від структурних перетворень у склі. Показник заломлення багато в чому залежить від хімічного складу, за його величиною можна судити про природу скла. Для натрієво-кальцієво-силікатних стекол він коливається в межах від 1,48 до 1,52, а для кришталевого – від 1,65 до 1,9. Показник заломлення підвищується при введенні до складу скла оксидів плюмбуму, бору, титану і вольфраму і знижується зі збільшенням вмісту кремнезему і оксиду алюмінію.

Гра світла, характерна для виробів з кришталевого скла, пояснюється високим показником заломлення. Для кращого виявлення цієї особливості кришталеві вироби виготовляють більш товстостінними і прикрашають глибокими алмазними гранями. Поглинання світла склом є істотним його недоліком. Віконне скло поглинає до 20 % світлового потоку, що проходить крізь нього, і, перш за все, його ультрафіолетову частину, найбільш важливу для життєдіяльності організму. Найбільше світлопропускання, в тому числі і для ультрафіолетових променів, має кварцове скло, плавлений борний ангідрид та увіолеве скло.

Підвищений вміст оксидів заліза надає склу зеленувато-жовтуватого відтінку, що різко знижує світлопропускання. Віконне скло, що пропускає менше 84 % падаючого світлового потоку, не можна використовувати для скління житлових приміщень. Для одержання стекол, не прозорих для ультрафіолетової частини спектра, на поверхню скла наносять плівку оксиду феруму або вводять до його складу до 3,5 % Fe_2O_3 . Таке скло застосовують у районах з жарким кліматом; вони затримують до 50 % і більше сонячної радіації.

Сонцезахисне скло одержують у такий спосіб. На поверхню скла, що знаходиться в стані, близькому до розм'якшення, наносять оксидно-металеві покриття з плівкоутворюючих розчинів. Такі плівки найчастіше бувають на основі хлоридів стануму і сурми, кобальту та ін.

Відбивання світла склом залежить від його природи та характеру поверхні. Великий світловий потік відбивається від рівної блискучої поверхні і менший – від матової; ці властивості скла використовують для нанесення на вироби малюнка матовою стрічкою.

Для зниження коефіцієнта відбиття та підвищення світлосили поверхню виробу покривають тонкою плівкою з меншим показником заломлення. Цей метод називається просвітленням, він дозволяє скоротити коефіцієнт відбиття скла з 4-6 % до 0,7-0,3 %. Якщо коефіцієнт заломлення цієї плівки більше, ніж скла, то коефіцієнт відбиття поверхні збільшується.

Скло – поганий провідник електрики, воно відноситься до ізоляторів. При підвищеній температурі та високій напрузі електропровідність скла зростає. Скло володіє іонною провідністю. Найбільшою здатністю до пересування під впливом електричного струму володіють іони натрію і калію, тому що їх зв'язки не так міцні, як у двовалентних іонах. Найбільш сильно впливають на електропровідність лужні оксиди; борний ангідрид і кремнезем знижує її.

Кращим діелектриком є чистий кварц. Діелектрична проникність скла залежить від його складу. Вона тим вище, чим більше в склі лужних оксидів. Із збільшенням вмісту в склі BaO і PbO вона особливо зростає.

Діелектрична проникність скла вище, ніж кристалічного тіла. Електрична міцність плавленого кварцу зростає при підвищеному вмісті кремнезему і лужноземельних оксидів і знижується зі збільшенням лужних оксидів. Оксиди, що підвищують питомий опір скла проходженню електричного струму, аналогічно впливають і на його електричну міцність.

Скло стійке до нетривалого впливу при нормальній температурі різних хімічних середовищ (вологи, солей, газів та ін.) При тривалому впливі реагентів і підвищеній температурі скло піддається поступовому руйнуванню – корозії, яка супроводжується появою на поверхні білого нальоту чи ірізуючої плівки. Під дією фтористоводневої кислоти скло легко руйнується, що використовують для нанесення на вироби різних прикрас.

Скло характеризується виборчою хімічною стійкістю до різних реагентів. Вона залежить від хімічного складу скла і, перш за все від вмісту в ньому кремнезему і лужних оксидів. Зі збільшенням кількості кремнезему хімічна стійкість скла підвищується, лужні оксиди сприяють її зниженню. Хімічна стійкість скла, до якого входять два лужних оксиди, вище, ніж скла, яке містить еквівалентну кількість одного з цих окислів. Більш стійкими є силікати двовалентних металів (кальцієві і магнеєві), малостійкі – силікати барію та плюмбуму. Хімічна стійкість скла зростає також зі збільшенням у ньому алюмінатів і боросилікатів (до 12 %).

Хімічна стійкість скла, як зазначалося вище, тим більше, чим менше вміст лужних оксидів. Проте при значному зменшенні кількості цих окислів різко підвищується в'язкість і у зв'язку цим температура варіння та освітлення скломаси. Стійкість скла до розчинів кислот тим вище, чим

більше зміст SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , до розчинів лугів – SiO_2 , CaO , BeO_2 . Зі збільшенням у склі BaO , MgO , TiO_2 лугостійкість знижується. Скло гірше пручається впливу NaOH , ніж KOH .

Висока хімічна стійкість скла пояснюється гідролізом силікатів його поверхні при взаємодії з вологою. При цьому утворюються, рідкий луг і гель, кремнієва кислота залишаються на поверхні скла у вигляді рівномірної плівки товщиною до 7 мкм. Шар гелю кремнієвої кислоти у міру збільшення його товщини уповільнює процес руйнування поверхні скла. Швидкість руйнування силікатного скла залежить від швидкості гідролізу силікатів і швидкості дифузії води та продуктів руйнування через захисну плівку. На поверхні скла, що не містять кремнезем (боратних і фосфатних), під впливом хімічних реагентів захисна плівка не утворюється.

В результаті впливу на скло їдкою лугу з вуглекислотою утворюються карбонати, які поступово накопичуються, утворюючи дрібні краплі або суцільний наліт. Швидкість руйнування поверхні скла знижується в міру утворення на ній захисної плівки кремнезему, і хімічна стійкість скла залежить від товщини, щільності і хімічного складу плівки. Під впливом фторводневої кислоти захисна плівка гелю кремнієвої кислоти поступово переходить у розчинний чотирьох фтористий кремній.

Скло з високою хімічною стійкістю, як правило, має високі механічні і електроізоляційні властивості. Хімічна стійкість скла підвищується в кілька десятків разів в результаті теплової обробки ($400-450^\circ\text{C}$) його поверхні, при якій відбувається ущільнення кремнеземної плівки. Крім того, хімічна стійкість виробів зі скла може бути підвищена в кілька тисяч разів за рахунок отримання на їх поверхні захисних покриттів, що володіють гідрофобністю (оксидів алюмінію або цинку, кислотно-парафінових та ін.) Позитивно впливає на хімічну стійкість скла підпал в

середовищі газів і парів води. При цьому відбувається нейтралізація лужних оксидів і, перш за все натрію і калію, якими збагачується поверхню скла при нагріванні. Якщо при випалюванні лужні оксиди не будуть нейтралізовані, то хімічна стійкість зменшиться.

4.5. Склокристалічні матеріали

Сітал отримують на основі неорганічного скла шляхом його повної або часткової керованої кристалізації. Термін «Сітал» утворений від слів: скло і кристали. За кордоном їх називають склокерамікою, пірокерамами. За структурою і технологією одержання сітали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Від неорганічного скла вони відрізняються кристалічною будовою, а від керамічних матеріалів – більш дрібнозернистою і однорідною мікрокристалічною структурою.

Сітал отримують шляхом плавлення скляної шихти спеціального складу з добавкою нуклеаторів (каталізаторів), охолодження розплаву до пластичного стану та формування з нього виробів методами скляної технології та подальшої сіталізації (кристалізації).

Сіталові вироби отримують також порошковими методами спікання. До складу скла, що застосовується для отримання сіталу, входять оксиди Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO тощо і каталізатори кристалізації (нуклеатори). До числа останніх відносяться солі світлочутливих металів Au , Ag , Cu , які є колоїдними фарбниками і знаходяться в склі у вигляді найдрібніших колоїднодисперсних частинок, а також фтористі і фосфатні сполуки, TO_2 , та інші, що представляють собою глушники, розподіляються в склі у вигляді погано розчинних частинок.

Нуклеатори мають кристалічну решітку, подібну до кристалічних фаз, що виділяються зі скла, і здатні в певних умовах утворювати центри

кристалізації, призводячи до рівномірного закристалізовування всієї маси скла.

Сітали підрозділяють на фотосітали, термосітали і шлакосітали. Фотосітали отримують із скла літієвої системи з нуклеаторами – колоїдними фарбниками. Фотохімічний процес протікає при опромінюванні скла ультрафіолетовим або рентгенівськими променями, при цьому зовнішній вигляд скла не змінюється. Процес кристалізації відбувається при повторному нагріванні виробу.

Термосітали виготовляють із скла систем: $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ і інших з добавкою TiO_2 , FeS та інших нуклеаторів. Кристалічна структура ситалу створюється тільки в результаті повторної термообробки попередньо відформованих виробів. Структура цього ситалу, складається із зерен однієї або декількох кристалічних фаз, скріплених між собою склоподібним прошарком. Вміст кристалічної фази коливається від 30 до 95 %. Розмір кристалів зазвичай не перевищує 1-2 мкм. За зовнішнім виглядом термосітали можуть бути непрозорими і прозорими (кількість склофази до 40 %).

Шлакосітали отримують на основі доменних шлаків і каталізаторів (сульфати, порошки заліза тощо) при введенні сполуки фтор для посилення ситалізації.

На відміну від звичайного скла, властивості якого визначаються в основному його хімічним складом, для ситалу вирішальне значення мають структура і фазовий склад. Причина цінних властивостей ситалу полягає в його виключній дрібнозернистості, майже ідеальній полікристалічній структурі. Властивості ситалу ізотропні. У них зовсім відсутня будь-яка поруватість. Усадка матеріалу при його переробці незначна. Велика абразивна стійкість робить їх малочутливими до поверхневих дефектів.

Щільність ситалу лежить в межах $2400\text{-}2950 \text{ кг/м}^3$, міцність при

вигині $\sigma_{\text{виг}}=70\text{-}350$ МПа (і навіть 560 МПа), $\sigma_{\text{в}}=112\text{-}161$ МПа, ($\sigma_{\text{сж}}=700\text{-}2000$ МПа), модуль пружності 84-141 ГПа.

Міцність сіталу залежить від температури: до температури 700-780 °С міцність матеріалу зменшується незначно, при більш високих температурах швидко падає. Жароміцності сіталу під навантаженням становить 800-1200 °С. Максимальна температура розм'якшення становить 1250-1350 °С. Ударна в'язкість сіталу вище, ніж ударна в'язкість скла (4,5-10,5 кДж/м²), проте вони відносяться до крихких матеріалів. Твердість їх наближається до твердості загартованої сталі (мікротвердість 7000-10500 МПа). Вони дуже зносостійкі ($f_{\text{тр}}=0,07\text{-}0,19$). Коефіцієнт лінійного розширення лежить в межах $(7\text{-}300) \cdot 10^{-7}$ 1/°С. По теплопровідності сітал в результаті підвищеної щільності перевершує скло $\lambda=2\text{-}7$ Вт/м·К. Термостійкість висока ($\Delta t=500\text{-}900$ °С). Склокристалічні матеріали мають високу хімічну стійкість до кислот і лугів, не окислюються навіть при високих температурах. Вони газонепроникні і володіють нульовим водопоглинанням. Хороші діелектрики.

Застосування сіталу визначається їх властивостями. З сіталу виготовляють підшипники, деталі для двигунів внутрішнього згоряння, труби для хімічної промисловості, оболонки вакуумних електронних приладів, деталі радіоелектроніки. Сітал використовують як жаростійке покриття для захисту металів від дії високих температур. Їх застосовують у виробництві текстильних машин, абразивів для шліфування, філь'єр для витягування синтетичних волокон. З сіталу можуть бути виготовлені лопатки повітряних компресорів, сопла реактивних двигунів, вони використовуються для виготовлення точних калібрів.

Для скління транспортних засобів використовують переважно триплекси, термопари і загартоване скло. Загартування полягає в нагріві

скла і наступному швидкому і рівномірному охолодженні в потоці повітря або в маслі. При цьому опір статичного навантаженням збільшується в 3-6 разів, ударна в'язкість в 5-7 разів. При загартуванні підвищується також термостійкість скла.

Термохімічне зміцнення засноване на глибокій зміні структури скла і властивостей його поверхні. Скло піддається загартуванню у підігрітих силіційорганічних рідинах, в результаті чого на поверхні матеріалу утворюються полімерні плівки; цим створюється додаткове зміцнення.

Підвищення міцності та термостійкості можна отримати травленням загартованого скла фтористодневою кислотою, в результаті чого видаляються поверхневі дефекти, які знижують його якість. Силікатні триплекси представляють собою два аркуші загартованого скла (товщиною 2-3 мм), що склеєні прозорою полімерною плівкою. При руйнуванні триплексу утворюються негострі осколки, що утримуються на полімерній плівці. Триплекси бувають плоскими і гнучими.

Термопан – тришарове скло, що складається з двох шарів скла і повітряного проміжку між ними. Цей повітряний прошарок забезпечує теплоізоляцію. Оптичне скло, яке застосовується в оптичних приладах та інструментах, підрозділяють на крони, що відрізняються малим коефіцієнтом заломлення, і флінти – з високим вмістом оксиду плумбуму і великими коефіцієнтами заломлення. Важкий флінт не пропускає рентгенівське і γ -випромінювання.

Світлорозсіювальне скло містить у своєму складі фтор. Скління кабін і приміщень, де знаходяться пульти управління мартенівських і дугових печей, прокатних станків і підйомних кранів в ливарних цехах, виконується склом, що містять оксиди феруму і ванадію, які поглинають близько 70 % інфрачервоного випромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,7-3 мкм.

Кварцове скло внаслідок високої термічної і хімічної стійкості застосовують для виготовлення тиглів, чаш, труб, наконечників, лабораторного посуду. Близьке за властивостями до кварцового скла, але більш технологічне кварцoidне (кремнеземне) скло використовують для електроколб, форм для точного лиття тощо. Електропровідне (напівпровідникове) скло: халькогенідне і оксидно ванадієве, знаходять широке застосування в якості термісторів, фотоопорів.

Теплозвукоізоляційні скловолокнисті матеріали мають крихко волокнисту структуру з великим числом повітряних прошарків, волокна в них розташовуються безладно. Така структура дає цим матеріалам малу об'ємну масу (20-130 кг/м³), низьку теплопровідність $\lambda=0,030-0,0488$ Вт/м·К.

Різновидами скловолокнистих матеріалів є скловата, застосування якої обмежено її крихкістю.

Скломат – матеріали АСІМ, АТІМС, АТМЗ, які складаються з скловолокна, розташованого між двома шарами склотканини або склосітки, що простьобаних сконитками. Вони застосовуються в інтервалі температур від 60 до 600 °С. Іноді скловолокна поєднують з термореактивною смолою, яка надає матам більш стійкої рихлої структуру (матеріал АТІМСС), вони працюють при температурі до 15°С.

Матеріали, що виробляються з короткого волокна і синтетичних смол, називаються плитами. Коефіцієнт звукопоглинання плит при частоті 200-800 Гц дорівнює 0,5 при частоті 8000 Гц – 0,65. Скловату, мати, плити застосовують для теплозвукоізоляції кабін літаків, кузовів автомашин, залізничних вагонів, тепловозів, корпусів судів, в холодильній техніці ними ізолюють різні трубопроводи, автоклави тощо.

4.6. Композиційні матеріали

Композитний матеріал (КМ), або композит – гетерофазний матеріал, окремі фази якого виконують специфічні функції, забезпечуючи йому властивості, яких не має жодний з компонентів окремо.

КМ зазвичай отримують поєднанням двох або більше компонентів, які нерозчинні або малорозчинні один в одному і мають властивості, що сильно відрізняються. Один компонент пластичний (зв'язувальна речовина, або матриця), а другий має високі характеристики міцності (наповнювач). Таким чином, у КМ кожний компонент грає свою специфічну роль: матриця забезпечує пластичність, зміцнювач – міцність матеріалу.

Властивості КМ залежать від матеріалу матриці і зміцнювача, кількісного їх співвідношення, форми зміцнювача.

Матриця зв'язує композицію, надає їй форму. Від властивостей матриці залежать технологічні режими одержання КМ і такі важливі характеристики, як робоча температура, густина, питома міцність.

Структура композитів залежить від наповнювача який використовується.

Розрізняють такі види структури: зерниста, волокниста, тканинна, об'ємна, шарувата.

Переваги КМ на металічній основі: високі твердість, в'язкість, питома міцність і жорсткість (відношення межі міцності і модуля пружності до питомої ваги), межа втоми, висока жароміцність, мала чутливість до теплових ударів та поверхневих дефектів, демпфуючі властивості, електро- і теплопровідність, технологічність при конструюванні, обробці та з'єднанні.

Перевагою композиційних матеріалів на металевій основі є більш високі значення характеристик, що залежать від властивостей матриці. Вони більш вологостійкі, негорючі, мають електричну провідність. Висока електропровідність металевих КМ добре захищає їх від електромагнітного випромінювання, блискавки. Висока теплопровідність металевих КМ оберігає їх від локальних перегрівів, що особливо важливо для таких виробів, як наконечники ракет і провідні кромки крил.

КМ на основі Al-сталевих волокон. При отриманні КМ, що складаються з чергування шарів алюмінієвої фольги і волокон, частіше всього використовують плющення, динамічне гаряче пресування, зварювання вибухом, дифузійним зварювання. Міцність цього типу композиту в основному, визначається міцністю волокон. Введення в матрицю високоміцних сталевих дротів підвищує межу витривалості композиту.

КМ на основі Al-сталевих волокон, пропускаючи волокна через розплав матриці, з наступним гарячим пресуванням. Швидкість повзучості цих МВКМ при температурах 473-573 °C на два порядки нижче повзучості неармованої матриці.

КМ на основі Al-борних волокон відносяться до найбільш перспективних КМ, оскільки володіють високою міцністю і твердістю при температурах до 673-773 °C. При виготовленні широко використовується дифузійне зварювання. Рідиннофазні методи (просочення, різні види лиття), з огляду на можливості хімічної взаємодії бору з алюмінієм, застосовують лише в тих випадках, коли на волокна бору попередньо нанесені захисні покриття – карбід кремнію або нітрид бору.

КМ на основі Al-вуглецевих волокон мають високі показники міцності і жорсткості при малій щільності. При цьому великий недолік вуглецевих волокон – їх не технологічність, пов'язана з крихкістю волокон

та їх високою реакційною здатністю. Зазвичай КМ Al-вуглецеві волокна отримують просоченням рідким металом або методом порошкової металургії.

Використання магнію та магнієвих сплавів в якості матриці, армованої високоміцними і високомодульними волокнами, що дозволяє отримати легкі конструкційні матеріали з підвищеними питомою міцністю, жароміцністю і модулем пружності.

КМ на основі Mg-борних волокон відрізняються високими міцними властивостями. Для виготовлення МКМ можна застосовувати методи просочення і лиття. Листові композиції Mg-B виготовляють методом дифузійного зварювання. Недоліком МКМ Mg-B є знижена корозійна стійкість.

КМ на основі Mg-вуглецевих волокон отримують гарячим пресуванням в присутності рідкої фази. Вуглець в магнію не розчиняється. Для покращення змочування вуглецевих волокон рідким магнієм їх попередньо покривають титаном (шляхом плазмового або вакуумного напилення).

Армування титану і його сплавів підвищує жаростійкість і розширює діапазон робочих температур інтервалу 973-1073 °C. Для армування титанової матриці застосовують металеві дроти, а також волокна карбідів кремнію і бору. Композити на базі титану з металевими волокнами отримують прокаткою, динамічним гарячим пресуванням і зварюванням вибухом.

КМ на основі Ti-Mo волокна отримують методом динамічного гарячого пресування заготовок типу «сендвич» у вакуумованих контейнерах. Таке армування дозволяє підвищити тривалу міцність порівняно з матрицею і зберегти міцність при високих температурах.

Одним з недоліків КМ Ti-Mo є висока щільність, що знижує питому міцність цих матеріалів.

КМ на основі Ti-B, SiC (волокна) мають підвищені не тільки абсолютні, але й питомі характеристики МВКМ на базі титану. Так як ці волокна тендітні, то для одержання компактних композицій частіше всього використовують дифузійне зварювання у вакуумі. Тривалі витримки МВКМ Ti-B при температурах вище 1073 °C під тиском призводять до утворення крихких боридів титану. Композити Ti-B володіють високою короткочасною і тривалою міцністю. Щоб підвищити термічну стабільність волокон бору їх покривають карбідом кремнію. Композити Ti-SiC мають високі значення границі повзучості

В системі КМ Ti-Be волокна взаємодія при температурі нижче 973 °C відсутня. Вище цієї температури можливе утворення крихкого интерметалліда, при цьому міцність волокна практично не змінюється.

Існуючі види зміцнення промислових нікелевих сплавів (дисперсне твердіння, зміцнення, складне легування і термомеханічна обробка) дозволяють зберегти їх працездатність тільки до інтервалу температур 1223-1323 °C. З цієї причини важливим стало створення КМ нікелю, армованих волокнами і здатних працювати тривалий час при більш високих температурах.

В системі КМ на основі Ni-Al₂O₃ волокна при нагріванні на повітрі утворюється оксид нікелю, який взаємодіє з арматурою. При цьому зв'язок між компонентами порушується. Для збільшення міцності зв'язку на арматуру наносять тонкі покриття металів (W, Ni, ніхром) і кераміки (оксиди ітрію та торію). Так як рідкий нікель не змочує Al₂O₃, в матрицю вводять Ti, Zr, Cr, які покращують умови просочення.

В КМ на основі Ni-C волокна Нікель практично не розчинний у вуглеці. У системі Ni-C утворюється метастабільний карбід Ni₃C.

Володіючи високою дифузійною рухливістю, вуглець насичує нікелеву матрицю за короткий час, у зв'язку з цим головними факторами в МВКМ Ni-C є розчинення вуглецевих волокон і їх рекристалізація внаслідок проникнення нікелю в волокно.

КМ на основі Ni-W волокна отримують динамічним гарячим пресуванням, дифузійним зварюванням, прокаткою. З причини того, що W інтенсивно окислюється при нагріванні, композити отримують у вакуумі або захисній атмосфері. При нагріванні МВКМ на повітрі відбувається окислення волокон вольфраму, розташованих на поверхні композиту. У разі якщо волокна не виходять на поверхню, то жаростійкість МВКМ визначається жаростійкістю матриці.

Дисперснозміцнені – матеріали, одержані шляхом введення в металеву матрицю дисперсних частинок зміцнювачів. Дисперснозміцнені КМ зміцнюються дисперсними основами тугоплавких сполук, головним чином оксидів, які не розчиняються і не коагулюють у матриці при високих робочих температурах.

Так, наприклад, дисперснозміцнений нікелевий сплав з 2-5 % тугоплавких оксидів торію, гафнію, ітрію має набагато вищу жароміцність ніж традиційні нікелеві сплави, леговані алюмінієм або титаном.

Вироби з дисперснозміцнених композиційних матеріалів одержують як правило, у три стадії: підготовка відповідних порошків, формування з них виробів і обробка їх під тиском.

Псевдо- і евтектичні сплави (ЕКМ) – сплави евтектичного або близького до нього складу, в яких армуючою фазою служать орієнтовані волокнисті або пластинчасті кристали, утворені в процесі спрямованої кристалізації.

Рідиннофазні процеси просочення і спрямованої кристалізації отримання композитів дають можливість використовувати в якості

матриць деформовані ливарні сплави і отримувати вироби складної конфігурації без додаткової формозміни.

Метод зонної плавки при отриманні ЕКМ полягає в локальному розплавлюванні й переміщенні вузької зони зі сплаву евтектичного складу по довжині прутка-заготовки.

До пластичних ЕКМ належать волокнисті композити з невисокою часткою ущільнювача(від 3 до 15 %), наприклад, сплави Ni, Co.

Закристалізовані евтектичні сплави мають анізотропні електронні, магнітні та інші властивості, що визначає їх застосування в електроніці.

Багато з них легше і міцніше алюмінієвих і титанових сплавів, їх застосування дозволяє знизити вагу виробу (літака, ракети, космічного корабля) і відповідно, скоротити витрату палива.

Псевдосплави отримують просоченням пористих залізних і сталевих каркасів розплавленим магнієм і його сплавами. Просочення пористого титану магнієвим сплавом призводить до суттєвого підвищення міцності.

Псевдосплави W-C, як і важкі сплави можна використовувати для захисту від дії рентгенівського випромінювання.

Відомі псевдосплави триботехнічного призначення на основі міді та бронзи, просочені свинцем, оловом, індієм та їх сплавами. Кращі антифракційні властивості мають псевдосплави бронза-олово і бронза – сплав Sn-Pb.

Волокнисті композиційні матеріали з металевою матрицею застосовуються при низьких, високих, надвисоких температурах, в агресивних середовищах при статичних, циклічних, ударних, вібраційних та інших навантажень.

Алюмінієвий сплав, армований скловолокном, що містить оксид урану, володіє підвищеною міцністю при температурі 823 °C і має бути використаний в якості паливних пластин ядерних реакторів в енергетиці.

Використання металевих волокнистих композитів на основі алюмінію в конструкціях літальних апаратів дозволяють досягти важливого ефекту – зниження маси. Алюмінієвий сплав, армований скловолокном, що містить оксид урану володіє підвищеною міцністю і використовується в ядерних реакторах.

Область застосування волокнистих металевих композитів визначається не тільки механічними, але фізичними властивостями (електричними, магнітними, акустичними). Введення арматури з вольфраму і молібдену в мідну і срібну матриці дозволяє отримувати зносостійкі електричні контакти для надпотужних високовольтних вимикачів.

Нікелеві дисперснозміцнені композиційні матеріали застосовуються для виготовлення деталей двигунів, що працюють при невисоких напруженнях. Молібденові дисперснозміцнені композиційні матеріали застосовуються для виготовлення деталей, що працюють в агресивних середовищах. Вольфрамові дисперснозміцнені композиційні матеріали застосовуються в електротехніці і електроніці.

Псевдосплав Fe-Cu застосовується для виготовлення великих деталей машин, що піддаються ударним навантаженням. З псевдосплава Fe-Pb виготовляють підшипники ковзання. З Mo-Cu, Mo, Ag, Ni-Ag виготовляють електроконтакти.

Металеві композиційні матеріали на основі Ti завдяки високій питомій міцності широко використовуються в літакобудівництві і космічній техніці.

Активно ведуться роботи по використанню металевих композиційних матеріалів для виготовлення важко навантажених деталей двигунів автомобілів.

Перспективи широкого застосування металевих композиційних матеріалів пов'язують з розробкою нових видів армуючих та матричних матеріалів, розробкою та удосконаленням існуючих технологічних процесів, значним зниженням вартості отриманих композитів.

4.7. Технічна кераміка

Кераміка – це вироби і матеріали, одержані спіканням глин і їхніх сумішей з мінеральними добавками, а також оксидів і інших неорганічних сполук.

За характером будови кераміку поділяють на грубу і тонку. Вироби грубої кераміки (гончарні вироби, цегла, черепиця) мають пористий грубозернистий черепок неоднорідної структури, пофарбований природними домішками в жовтувато-коричневі кольори. Тонкокерамічні вироби відрізняються тим, що вони є тонкозернисті білі або світлопофарбовані, спечені чи дрібнопористі черепки однорідної структури.

За ступенем спікання (щільності) черепка розрізняють керамічні щільні вироби, що спеклися з водопоглинанням менше 5 % (наприклад, фарфор). А також тонкокаменні вироби, пористий напівфарфор з водопоглинанням більше 5 % (фаянс, майоліки, гончарні вироби тощо).

Тип кераміки визначається характером використовуваних матеріалів, їх обробкою, особливо тонкістю помелу, складом мас і глазурей, температурою і тривалістю випалення.

До складу мас всіх типів кераміки входять пластичні глинисті речовини (глина, каолін), очищаючі матеріали (кварц, кварцовий пісок), плавильні (польовий шпат, пегматит, перліт, кістяна зола тощо). При випалюванні сформованих виробів у результаті складних фізико-хімічних

перетворень і взаємодій компонентів мас і глазури формується їхня структура.

Структура черепка неоднорідна і складається з кристалічної, склоподібної та газової фаз.

Газова фаза (відкриті і замкнуті пори) здійснює негативний вплив на фізико-хімічні властивості виробів; знижує міцність, термічну та хімічну стійкість, викликає водопоглинання і водопроникність черепка.

Кристалічна фаза утворюється при розкладанні і перетворенні глинистих речовин та інших компонентів маси.

Кристалічна фаза і особливо муліт надають черепку міцність, термічну та хімічну стійкість.

Склоподібна фаза виникає за рахунок розплавлювання плавнів і частково інших компонентів. Вона з'єднує частинки маси, заповнює пори, підвищуючи щільність черепка; у кількості до 45-50 % збільшує міцність виробів, при більшому вмісті – викликає крихкість виробів, знижує їх термостійкість.

Склоподібна фаза сприяє зменшенню водопоглинання і обумовлює просвічуваність черепка.

У залежності від складу сировини і температури випалу керамічні вироби підрозділяють на два класи: повністю спечені, щільні, блискучі у зламі вироби з водопоглинанням не вище 0,5 % та пористі, частково спечені вироби з водопоглинанням до 15 %.

За способом приготування керамічні маси поділяють на порошкоподібні, пластичні та рідкі.

Порошкоподібні керамічні маси являють собою зволожену або з добавкою органічних зв'язуючих пластифікаторів, суміш подрібнених і змішаних у сухому стані вихідних мінеральних компонентів. Перемішування глин і каолінів з відстаючими добавками у вологому стані

(18-26 % мас. води) отримують пластичні формувальні маси, які при подальшому збільшенні вмісту води і з добавкою електролітів перетворюються в рідкі керамічні маси (суспензії) – ливарні шлікери.

Вибір методу формування кераміки визначається в основному формою виробів.

Вироби простої форми (вогнетривка цегла, облицювальні плити) пресуються з порошкоподібних мас в сталевих прес-формах на механічних та гідравлічних прес-автоматах.

Стінові будматеріали – цегла, пустотілі та облицювальні блоки, черепиця, каналізаційні та дренажні труби тощо формуються з пластичних мас в шнекових вакуумних пресах

Санітарно-будівельна кераміка складної конфігурації відливається в гіпсових формах з керамічного шлікера на механізованих конвеєрних лініях.

Радіо- і п'єзокераміка, кермети та інші види технічної кераміки в залежності від їх розмірів і форми виготовляються головним чином пресуванням з порошкоподібних мас або відливанням з парафінового шлікера в сталевих прес-формах.

Сформовані тим чи іншим способом вироби піддаються сушці в камерних, тунельних або конвеєрних сушарках.

Випал кераміки є найважливішим технологічним процесом, що забезпечує заданий ступінь спікання. Точним дотриманням режиму випалу забезпечують необхідний фазовий склад, і всі найважливіші властивості кераміки.

Грубокерамічні матеріали застосовуються для виготовлення великогабаритних виробів у будівництві, архітектурі малих форм тощо. Ці сорти витримують високі температури і термічні коливання. Їх пластичність залежить від вмісту в породі кварцу і алюмінію (кремнезему

та глинозему). У загальній структурі багато глинозему з високим вмістом шамоту. Температура плавлення коливається від 1440 до 1600 °С. Матеріал добре спікається і дає незначну усадку, тому використовується для створення великих об'єктів.

Основу кам'яної керамічної маси складають шамот, кварц, каолін і польовий шпат. У вологому стані воно має чорно-коричневий колір, а після сирого випалу – колір слонової кістки. При нанесенні глазури кам'яна кераміка перетворюється на міцний, водостійкий та вогнетривкий виріб. Вона буває дуже тонкою, непрозорою або у вигляді однорідної, щільно спеченої маси.

Глина для кераміки являє собою білу масу з помірним вмістом кальцію і підвищеною пористістю. Її натуральний колір – від чисто-білого до зеленувато-коричневого. Обпалюється при низьких температурах. Рекомендується невипалена глина, тому що для деяких глазурів одноразового випалу недостатньо.

До технічної кераміці відносяться електро- і радіотехнічна кераміка; кермети; абразивні керамічні матеріали; пінокераміка та інші.

За електричними властивостям кераміку поділяють на власне електротехнічну, що застосовується при частотах до 20000 Гц; та радіотехнічну, використовувану переважно при високих (більше 20000 Гц) частотах.

Електротехнічна кераміка по області застосування ділиться на ізоляційну (настановну); конденсаторну (сегнетоелектрики); п'єзокераміку.

Ізоляційна кераміка повинна мати низькі втрати, добрі електроізоляційні властивості і міцність. Ізоляторна кераміка повинна мати більшу діелектричну проникність, малі втрати і температурний коефіцієнт.

Основу конденсаторної низькочастотної сегнетокераміки складають тверді розчини титанатів барію, кальцію, цирконію та станнатів кальцію і магнію та ін. Використання конденсаторної кераміки збільшує надійність роботи і теплостійкість конденсаторів і зменшує їх розміри.

П'єзокераміка – керамічні матеріали з п'єзоелектричними властивостями. Структура п'єзокераміки – тверді розчини на основі титаніту барію, ніобію барію і ніобію та титанату свинцю.

Абразивні керамічні матеріали (абразиви) – речовини підвищеної твердості, вживані в масивному або подрібненому стані для механічної обробки інших матеріалів.

Природні абразивні матеріали – кремінь, наждак, пемза, граніт, алмаз; штучні абразивні матеріали – карбід кремнію, синтетичний алмаз тощо.

Основні характеристики абразивних матеріалів: твердість, міцність і знос, розмір і форма абразивного зерна, абразивна здатність, зернистість.

Зі збільшенням міцності цих матеріалів покращується опірність зусиллям різання, тому що опір стисненню у них у кілька разів більше, ніж опір розтягуванню. Міцність абразивних матеріалів на розтяг і стиск знижується з підвищенням температури шліфування.

Абразивні керамічні матеріали використовуються як в незв'язаному вигляді (порошки, пасти, суспензії), так і в зв'язаному (бруски, шліфувальні шкурки, круги, головки та ін.)

Силікатна кераміка – це найстаріший різновид керамічних матеріалів для технічних потреб, яку виготовляють в основному з природної сировини в поєднанні з глиноземом (оксид алюмінію, силікат алюмінію).

Глинозем або оксид алюмінію (Al_2O_3) різного ступеня чистоти використовується частіше, ніж будь-який інший високоякісний керамічний матеріал. Існують грубо- і дрібнозернисті різновиди глинозему.

Приклади застосування оксидалюмінієвої (Al_2O_3) високоякісної кераміки включають надміцні інструменти для обробки металів тиском, підкладки та сердечники резисторів в електронній промисловості, плитки для захисту від зносу і вогнепальної зброї, ущільнення і диски регуляторів в водопровідних кранах і клапанах, теплопоглиначі в системах освітлення, захисні чохла в термічних процесах або носії каталізаторів в хімічній промисловості.

Титанат алюмінію (Al_2TiO_5) є стійкий до теплових ударів. Компоненти, виготовлені з цього матеріалу, здатні витримати навіть самі різкі зміни температури в кілька сотень градусів без отримання ушкоджень, хоча вони і мають низьку міцність.

Така висока стійкість до теплових ударів є результатом дуже низького коефіцієнта теплового розширення і певною мірою пористості мікроструктури цього матеріалу. Низькі показники змочуваності розплавленими металами роблять цей керамічний матеріал ідеальним рішенням для застосування в металургійній промисловості для плавлення і відливання металів.

Дисперсна оксидна кераміка – це змішування різних основних типів керамічних матеріалів, спеціально розроблених для поліпшення й оптимізації певних властивостей. Вона містить оксид алюмінію, армований цирконієм, і цирконій, армований алюмінієм. Одним з позитивних результатів армування одного оксиду іншим є підвищення міцності властивостей.

В матеріалах межа міцності на вигин становить 1350 МПа, а межа міцності при стисненні – понад 4700 МПа. Ці матеріали використовуються при виробництві компонентів, які вимагають максимальної надійності, наприклад, керамічні головки і вкладиші для ендопротезів тазостегнового суглоба, які використовуються в ортопедії.

До групи безкисневої кераміки входять матеріали, в основі яких лежать сполуки вуглецю, азоту і кремнію, такі як карбід кремнію, нітрид кремнію та нітрид алюмінію.

Нітрид алюмінію (AlN) є єдиним технічним керамічним матеріалом, який володіє надзвичайно цікавим поєднанням – вкрай високою теплопровідністю і відмінні ізоляційні властивості.

Цією властивістю обумовлено широке застосування нітриду алюмінію в енергетиці та мікроелектроніці. Наприклад, він використовується при виготовленні друкованих плат (підкладки) в напівпровідниках або в якості теплопоглинача в світлодіодної освітлювальної техніки або високопотужній електроніці.

Карбід кремнію є не тільки самим легким, але і самим твердим керамічним матеріалом, а також має відмінну теплопровідність, низький коефіцієнт теплового розширення і вкрай висока стійкість до дії кислот і лугів.

Широко застосовують карбід кремнію в якості будівельного матеріалу. Карбід кремнію однаково добре протистоїть корозії, ерозії абразивного і фрикційному зносу. Так, наприклад, компоненти з карбідокремнієвих кераміки використовуються в хімічних технологічних установках, обробляючих верстатах, обладнанні для розвальцьовування, машинах для лиття під тиском, а також при виготовленні форсунок.

Карбід кремнію токсичний і небезпечний, може бути використаний в харчовій промисловості. Інша типова область застосування карбідокремнієвих компонентів включає технології динамічного ущільнення з використанням підшипників ковзання і механічних ущільнень, наприклад, в насосах і приводних системах. У порівнянні з металами, карбід кремнію є досить економічним рішенням, що забезпечує більш тривалий термін служби інструменту при роботі з агресивними,

високотемпературними середовищами. Крім того, карбідокремнієва кераміка ідеально підходить для використання в балістиці, хімічному виробництві, енергетиці, виробництві паперу, а також в якості компонентів трубопровідних систем.

Нітрид кремнію (Si_3N_4) володіє чудовим поєднанням властивостей. Він практично такий же легкий, як карбід кремнію (SiC), але в той же час його мікроструктура забезпечує відмінну стійкість до теплових ударів, а висока ударна в'язкість надає йому високий опір ударним навантаженням.

Мікроструктура нітриду кремнію складається з подовжених кристалів, які зчіплюються в мікрострижні. Однією з областей застосування, в якій це поєднання властивостей виявилася особливо корисним, є обробка сірого чавуну або чавуну з керамічними вставками. На відміну від твердих металів або інших ріжучих матеріалів, застосування нітридкремнієвої кераміки дозволяє виконувати обробку різанням з керамічними вставками на максимальній швидкості без використання мастильно-охолоджувальної рідини. Відмінна ударна в'язкість обумовлює широке застосування в таких як, наприклад, виробництво кульок і тіл кочення для легких і надзвичайно точних підшипників, надміцних керамічних інструментів для обробки металів тиском, а також автомобільних компонентів, що піддаються високим навантаженням. Крім цього, висока стійкість до теплових ударів і термостійкість нітридкремнієвої кераміки використовується в зварювальних процесах.

Сіалон (SiAlON) – оксиднітрид алюмінію-кремнію (α/β -сіалонова) кераміка – новітні матеріали, розроблені для застосування в якості технічної кераміки і належать до класу нітридів кремнію. Вони зустрічаються тільки в деяких композиціях сировинних матеріалів і складаються як мінімум з трьох фаз: α -сіалонова, β -сіалонова і аморфна або частково кристалізована зерногранична фаза.

Матеріали категорії α/β -сіалонов характеризується унікальним поєднанням ще більш високої твердості в порівнянні зі звичайним нітридом кремнію з таким ж високим рівнем міцності. α -сіалонová фаза має високу твердість, в той час як β -сіалонová фаза – як і звичайний нітрид кремнію – володіє високою ударною в'язкістю. Відповідні частки α -сіалоновой, β -сіалоновой і зерномежевої фази можуть бути в значній мірі скориговані, що дозволяє змінювати властивості α/β -сіалонових матеріалів відповідно до конкретних вимог для різних областей застосування.

Твердоміцнісні характеристики: жорстка серцевина, що оточена дуже жорстким зносостійким поверхневим шаром.

Твердість і зносостійкість α/β -сіалонов може бути додатково збільшена за рахунок додавання твердих матеріалів, наприклад, карбїду кремнію. Подібні різновиди оксид-нітрида алюмінію-кремнію відмінно зарекомендували себе в якості компонентів, що піддаються впливу високих навантажень, наприклад, в целюлозно-паперовій промисловості.

До групи п'єзокераміки, також відомої під назвою «функціональна кераміка», входять матеріали, що використовуються для перетворення механічних параметрів в електричні або, навпаки, для перетворення електричних сигналів в механічний рух або вібрацію.

П'єзокерамічні матеріали мають широкий спектр застосування. Вони використовуються в ряді областей автомобільної промисловості, наприклад, при виробництві датчиків детонаційного згоряння палива або рівня масла. У медичних технологіях використовуються в приладах для видалення зубного нальоту і інгаляторах. В машинобудівній промисловості це системи і пристрої для ультразвукового очищення, ультразвукового зварювання та активного демпфірування вібрацій. Звукознімачі для музичних інструментів або п'єзоелектричні пристрої для запалювання газу.

Область застосування високоміцних легкосплавних компонентів в першу чергу, на основі алюмінію, а також магнію і титану стає дедалі більше. Застосування легкосплавних компонентів в автомобільній промисловості обумовлено прагненням до зниження загальної ваги конструкції, яке в кінцевому підсумку дозволяє скоротити витрату палива і рівень викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Проте, застосування легкосплавних компонентів обмежена в тих областях, де вони повинні витримувати високі, механічні або термічні навантаження. Ці недоліки можуть бути усунені при одночасному збереженні низької ваги компонентів за допомогою цілеспрямованого і в деяких випадках часткового посилення металу керамічними частками. При зміні структури технічної кераміки і кераміки спеціального призначення переслідуються наступні цілі: збільшення механічної міцності; зниження впливу тертя і зносу; зниження впливу теплового розширення; підвищення термічної стабільності.

Прикладом застосування є у виготовленні гільз циліндрів в двигунах, стінки поглиблень для плунжерів, опорні диски гальмівних колодок, підшипники, гальмівні диски, спортивні товари і теплопоглиначі в електроніці.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як називаються структурні одиниці, з яких складаються полімери?
2. В діапазоні яких температур плавляться аморфні полімери?
3. Як можна класифікувати матеріали на основі полімерів?
4. Що називається явищем старіння?
5. Представте основні інгредієнти, що входять до складу пластмас.

6. Які переваги та недоліки пластмас перед іншими матеріалами ви знаєте?
7. Що є спільною ознакою гідроізоляційних покрівельних полімерних матеріалів?
8. Яке основне призначення мають герметизаційні матеріали?
9. На основі яких хімічних сполук виготовляють клеї для склеювання?
10. Що таке композитний матеріал?
11. Що зв'язує матриця в композитах?
12. Від чого залежить структура композитів?
13. Які переваги конструкційних матеріалів на металічній основі?
14. Які галузі застосування конструкційних матеріалів на основі al-сталевих волокон, al-борних волокон, mg-борних волокон та mg-вуглецевих волокон?
15. Які характеристики композиційних матеріалів підвищує армування титану і його сплавів?
16. Які види зміцнення промислових нікелевих сплавів ви знаєте?
17. Які матеріали називають дисперснозміцненими?
18. Які сплави називають псевдо- і евтектичними?
19. Як отримують псевдосплави?
20. На які класи за характером будови поділяють кераміку?
21. Як розрізняють кераміку за ступенем спікання (щільності) черепка?
22. Чому сприяє склоподібна фаза в кераміці?
23. На які класи поділяють керамічні маси за способом приготування?
24. Які кермети та інші види технічної кераміки в залежності від їх розмірів і форми виготовляються?
25. Які природні абразивні матеріали відомі?
26. З чого складається мікроструктура нітриду кремнію?
27. Що ви знаєте про матеріал салон?

5. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

5.1. Тема: Макроскопічний аналіз металів та сплавів

Мета: ознайомитись та навчитись проводити макроскопічний аналіз металів і сплавів, а також робити висновки щодо їх якості.

5.1.1. Короткі теоретичні відомості

Макроаналіз полягає в дослідженні будови металів та сплавів неозброєним оком або при незначному збільшенні (до 30 раз). Це дозволяє вивчати великі перетини металів, робити висновки про їх будову та присутність певних дефектів, а також вибирати ділянки для подальших досліджень. Будова металів та сплавів, що визначена таким чином, називається макроструктурою.

За допомогою мікроаналізу можна визначити:

- порушення суцільності металу (усадкова несучість, центральна пористість, підкоркові пухирі, свищі);
- будову литого та деформованого металів;
- хімічну неоднорідність (ліквацію);
- вид зламу;
- структуру металу після зварювання, деяких видів термічної та хіміко-термічної обробки.

Для дослідження макроструктури металів використовують метод шліфів та метод зламів. При цьому вид зламу визначають безпосередньо спостереженням, тоді як інші особливості макроструктури – на макрошліфах.

На практиці широко використовують метод аналізу макрошліфів. Макрошліф – це зразок з плоскою відшліфованою та (якщо це необхідно) протравленою поверхнею, який вирізають з досліджуваної сталі. Макрошліф роблять таким чином. На металорізальному верстаті або іншим способом вирізають зразки. Одну площину шліфують вручну або на шліфувальному верстаті. Шліфувальним папером однієї зернистості шліфують в одному напрямі. Після переходу на більш тонкий шліфувальний матеріал напрям обробки змінюють на кут 90° . Після цього зразки промивають водою та просушують.

Для визначення дефектів шліф знежирюють та травлять. Реактив більш активно взаємодіє з тими ділянками, де наявні дефекти та неметалеві включення. Поверхня виходить рельєфною.

Розрізняють глибоке та поверхневе травлення. З допомогою глибокого травлення визначають макроструктуру зливків, прокату, а також пори, раковини, ліквіацію тощо.

Поверхневе травлення, яке проводять з використанням менш агресивних реактивів, дозволяє виявити ліквіацію, досить велику пористість в зварних швах, а також інші несучільності, що виходять на поверхню.

В ході макроаналізу литого металу травлення макрошліфа проводять у 15 %-вому водному розчині персульфата амонію при температурі $80-90^\circ\text{C}$ протягом 5-10 хвилин. Для литого металу характерні велика неоднорідність зерен по формі та розміру, присутність несучільностей, неоднорідність по хімічному складу. Присутність цих особливостей будови литого металу, які знижують його властивості і тому відносяться до недоліків, зумовлена процесом кристалізації.

Мікроаналіз сталевих зливків показав, що в його структурі можна виділити три зони :

- дрібних дезорієнтованих кристалів;
- орієнтовних стовпчастих (або шестоватих) кристалів;
- великих дезорієнтованих рівноважних кристалів.

Неоднорідність будови литого металу зумовлена змінами умов кристалізації протягом часу кристалізації. Відомо, що процес кристалізації можливий при певному переохолодженні рідкого металу, яке характеризується ступенем переохолодження ΔT і який, у свою чергу, дорівнює різниці температур кристалізації теоретичної T_s та фактичної $T_{кр}$.

Процес кристалізації складається з двох стадій:

- 1) утворення центрів кристалізації твердої фази (зародки твердої фази);
- 2) росту кристалів твердої фази.

Довільне виникнення центрів кристалізації твердої фази називають гомогенним. При цьому збільшення до певного ступеня переохолодження приводить до виникнення більшого числа центрів кристалізації (ч.ц.) та підвищення швидкості їх росту (ш.р.), що зумовлює зменшення розміру зерен (рис. 24).

При кристалізації зливка найбільший ступінь переохолодження спостерігається безпосередньо на межі між рідким металом та холодними стінками виливниці (форма, у яку заливають метал).

У процесі кристалізації ступінь переохолодження на межі поділу рідина-тверда фаза зменшується за рахунок прогріву стінок виливниці та утворення зони твердого металу. Це призводить до зменшення кількості зародків твердої фази та швидкості їх росту. Наявність направленого тепловідводу стимулює формування зони стовпчастих кристалів, які ростуть перпендикулярно до стінок виливниці. В центральній частині зливка направлене відведення теплоти відсутнє, що сприяє утворенню

неорієнтованих кристалів. Вони досить великі, оскільки ступінь переохолодження в цій зоні незначний.

На процес кристалізації впливають також домішки, які знаходяться у рідкому металі у зваженому стані. Якщо частинки домішок мають однакову (або близьку) кристалічну решітку з решіткою метала, що стверджується, то вони можуть бути готовими центрами кристалізації. У цьому випадку спостерігається зменшення розміру критичних зародків, а кристалізація рідини починається при менших переохолодженнях. Таке утворення зародків твердої фази називається гетерогенним. Використання таких домішок (вони отримали назву модифікатори) веде до підвищення якості металу, а операція їх введення у рідкий метал отримала назву модифікування.

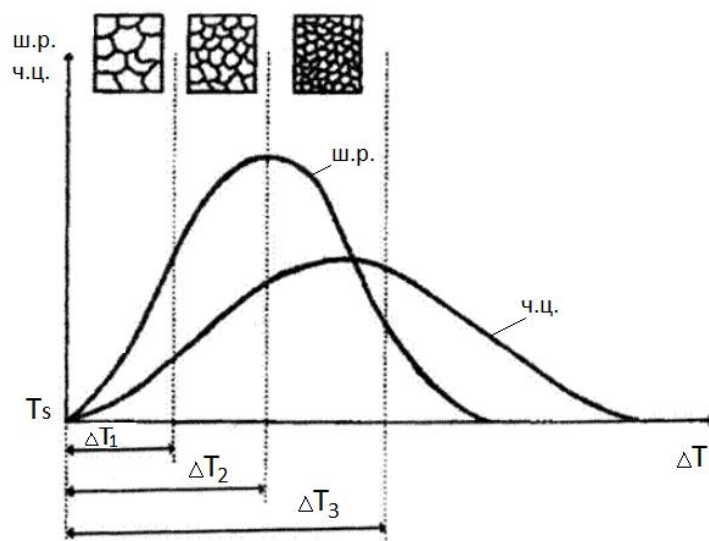


Рис. 24. Залежність числа центрів кристалізації (ч.ц.) та швидкості росту кристалів твердої фази (ш.р.) від ступеня переохолодження ΔT .

Недоліком литого металу є його несучільність. Утворення несучільностей зумовлене тим, що метал у твердому стані займає менший об'єм, ніж у рідкому. Усадка розподіляється або у вигляді раковини, яка

зосереджується у верхній частині зливка, або у вигляді дрібних раковин, що розподіляються по всьому зливку. Розміри та форма усадкових раковин залежать від маси металу, форми виливниці, швидкості кристалізації тощо.

Поміж всіх несучільностей найбільший вплив на структуру та властивості металів чинить раковина у верхній частині зливка, поверхня якої вкрита шаром оксидів, до того ж в цій частині зливка сконцентрована найбільша кількість шкідливих домішок. Цю частину зливка відрізають.

До недоліків зливка відноситься його хімічна неоднорідність (ліквація). Розрізняють два види ліквації: макроскопічну, яку можна виявити неозброєним оком, та мікроскопічну, яку виявляють за допомогою спеціальних методів аналізу (металографічного, мікрорентгено-спектрального та ін.).

До макроскопічної ліквації відносять нормальну зональну, зворотню зональну та ліквацію за густиною. Для нормальної зональної ліквації характерна неоднорідність зливка по зонах. Найбільше вона проявляється у центральній частині зливка. При зворотній зональній ліквації ділянки з підвищеною концентрацією домішок розташовані на зовнішній поверхні. Ліквація по густині обумовлена різною питомою вагою твердих фаз та рідкої фази.

До мікроскопічної ліквації відносять дендритну та внутрішньокристалічну ліквації. Перші ділянки дендрита насичені тугоплавкими компонентами, а багаті на легкоплавкі домішки залишки рідини тверднуть останніми і таким чином нашаровуються на дендрит.

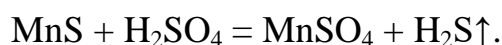
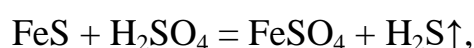
Ліквації спричиняють утворення різних дефектів в литих металах та сплавах, затрудняють їх обробку та знижують властивості.

Сірка в сталі перебуває у вигляді сульфідів FeS, MnS і є шкідливою домішкою. Що викликає червоноламкість. Сульфід заліза утворює з залізом евтектику з температурою плавлення 988 °С. при нагріванні сталі

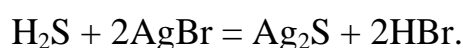
до температур прокатки чи кування (1200-1250 °C) евтектика плавиться по границях зерен і сталь при деформації руйнується.

Ліквацію сірки в сталях та чавунах можна визначити методом Баумана. До поверхні шліфа прикладають аркуш фотопаперу, попередньо змоченого у 5%-вому водному розчині сульфатної кислоти. Під час витримки зміщувати папір по поверхні шліфа не можна.

На поверхні шліфа в місцях з підвищеною концентрацією сірки проходить реакція між сульфідами та сірчаною кислотою:



Сірчистий водень в місцях свого виділення реагує з бромистим сріблом, що входить до складу фото емульсійного шару фотопаперу:



Сірчисте срібло має темний колір. Темні ділянки на фотопапері, що виникають після проведення експерименту, показують характер розподілу сульфідів у сталі.

Знятий з макрошліфа фотопапір промивають у воді, фіксують у розчині гіпосульфату (20-30 хвилин) та сушать. Перевагою методу є те, що він дозволяє визначити розподіл сірки в сталі на відміну від хімічного аналізу, який показує тільки її вміст.

Макроструктура деформованого металу утворюється при пластичній деформації в гарячому чи холодному станах. Внаслідок прокатки, кування. Штамповки чи волочіння несучільності, які були у металі, усуваються. Дендрити і зерна деформуються та витягуються у напрямку обробки; витягуються також неметалеві включення. Внаслідок цього формується типова для прокатаного металу полосчата (волокниста) структура. Волокниста будова металу обумовлює анізотропію його властивостей

(різниця властивостей вздовж та поперек волокон). Пластичність, міцність та в'язкість зразків, вирізаних вздовж волокон, вищі, ніж зразків, вирізаних поперек. Відповідальні виробни, що працюють при значних динамічних навантаженнях (колінчаті вали, шестерні, шатуни, крюки), виробляють таким чином, щоб волокна у виробках не перерізались, а відповідали конфігурації виробу.

Макроструктура металів після термічної та хіміко-термічної обробки неоднорідна. Внаслідок гартування, цементації, азотування, а також інших видів хіміко-термічної обробки будова поверхні порівняно з будовою основи суттєво міняється. По макрошліфу чи вигляду зламу можна робити висновок про наявність змін будови поверхневого шару металу. Виявлена таким чином неоднорідність і є ознакою правильності обробки, що відбулась.

Для вивчення макроструктури зварного шва його травлять 10-15 % - вим водним розчином персульфату амонію. Під час травлення з поверхні шліфа періодично прибирають оксиди, що виникають під час процесу. Травлений таким чином шліф промивають у проточній воді, сушать, промивають спиртом та вивчають візуально або за допомогою лупи чи мікроскопа. У макроструктурі зварного шва виділяють дві зони – наплавленого та основного металів. Для будови наплавленого металу характерна наявність стовпчастих кристалів, розмір яких на відміну від розміру кристалів литого металу досить дрібний. Ця різниця викликана великою швидкістю кристалізації наплавленого металу зварного шва.

Макроскопічним аналізом можна виявити також зону термічного впливу, неспривар, тріщини, шлакові домішки.

Метод зламів полягає у вивченні поверхні, яка виникає при руйнуванні металевих зразків. За допомогою цього методу можна виявити форму та розмір зерен, різновид зламу, характер руйнування. Розрізняють

такі види зламів: в'язкий та крихкий. В'язкий злам утворюється витягнутими, загостреними при розриві зернами, що засвідчує значний ступінь пластичної деформації перед руйнуванням. Форму та розміри зерен металу по вигляду в'язкого зламу виявити неможливо.

Для крихкого зламу характерна присутність на поверхні блискучих ділянок (фасеток). Руйнування у цьому випадку проходить без помітної пластичної деформації. Форма та розмір зерен не змінюються, що дозволяє робити висновок щодо їх початкових розмірів. Крихкий злам ділять на міжкристалічний та транскристалічний. При міжкристалічному зламі руйнування проходить по межах зерен металу, що зумовлено присутністю неметалевих сполук – сульфідів, карбідів, нітридів тощо, а при кристалічному зламі – крізь зерно по площинах ковзання кристалічної решітки. Крихкий варіант руйнування найбільш небезпечний, оскільки проходить найчастіше при напрузі, меншій за межу плинності матеріалу.

Вигляд зламу залежить також від умов випробування – температури, швидкості навантаження, характеру напруженого стану тощо.

Відомі такі основні види крихких станів. Нафталіністий злам – транскристалічний з великим зерном та вибірковим блиском. Такий злам засвідчує високу крихкість і є характерним для легованих інструментальних сталей. Головна причина такого явища – перегрів при термічній обробці, що спричиняє збільшення текстури (переважної орієнтації зерен у певному напрямку). Крихкий злам називається камінняподібним, якщо руйнування проходить по межах великих зерен. Причиною такого руйнування є домішки, які при перегріві металу концентруються на межі зерен або у приграничних зонах. Для правильно обробленої сталі буде характерним фарфороподібний злам – дрібнозернистий з матовим відтінком.

Частіше злами бувають змішаними, у макроструктурі яких спостерігаються ділянки в'язкого та крихкого зламів.

При втомі металу руйнування спостерігається після довгого впливу циклічних навантажень. Злам в цьому випадку складається з трьох зон: зони зародження тріщини; зони розповсюдження тріщини при циклічних навантаженнях – зона втоми; долом. Перша зона рівна, для другої характерні концентричні борозди або дуги і ділянки фарфороподібного зламу. Зона зламу може бути в'язкою чи крихкою.

5.1.2. Завдання

Прослідкувати, описати та замалювати етапи процесу кристалізації гіпосульфату натрія.

Замалювати та описати макроструктури двох зливків металу. Описати відмінності у їх будові та зазначити причини цього.

Замалювати дві макроструктури двох зразків після пластичної деформації. Пояснити малюнки, зазначити технологію виготовлення виробів.

Провести аналіз розподілу сірки в сталях по методу Баумана.

Дослідити та замалювати макроструктуру зварного шва (протравити шліф, визначити присутність дефектів, описати макроструктуру).

Дослідити та замалювати характерні злами. Провести порівняльний аналіз зламів.

5.2. Тема: Діаграми стану подвійних систем

Мета: вивчити основні типи подвійних діаграм стану та методику їх аналізу.

5.2.1. Короткі теоретичні відомості

Діаграми стану в зручній графічній формі показують фазовий склад і структуру сплаву залежно від температури і концентрації компонентів, з яких складається цей сплав.

Діаграми стану подвійних систем будують в координатах температура-хімічний склад сплаву. Вид діаграми визначається особливостями формуючих даний сплав компонентів і характером їх взаємодії. Діаграми дають інформацію про температури фазових перетворень сплавів, що в свою чергу дозволяє правильно підбирати режими їх термічної обробки.

Однією з найпростіших є діаграма стану систем з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому і твердому станах (рис. 25). Верхню криву називають кривою ліквідусу. Вище неї всі сплави знаходяться в рідкому стані. Крива ліквідусу показує, як змінюється температура початку кристалізації сплавів залежно від їх хімічного складу. Нижню криву називають кривою солідусу, або кривою кінця кристалізації. Нижче неї всі сплави знаходяться в твердому стані і мають однофазну структуру α -твердого розчину. В інтервалі температур між кривими ліквідусу і солідусу, який називається інтервалом кристалізації, всі сплави складаються з двох фаз – рідини і кристалів α -твердого розчину.

Таким чином, діаграма стану даного типу має три різні фазові області. Для правильної побудови кривої охолодження будь-якого сплаву і

будь-якої системи необхідно скористатися правилом фаз Гіббса, емпіричний запис якого виглядає так:

$$C = K - \Phi + 1,$$

де C – число ступенів свободи (варіантність) системи; K – число компонентів; Φ – число фаз.

Якщо, наприклад, розрахунок дає значення $C=0$, то це означає, що немає жодного ступеня свободи і не може змінюватися ні один параметр системи, в тому числі і температура. На кривій охолодження в цьому випадку буде сходинка. Якщо $C=1$, то процес іде із зміною температури, горизонтальна площина відсутня, на кривій охолодження буде точка перегину.

Криві охолодження чистого компонента (металу) A і сплаву I показані на рис. 25. Кристалізація компонента A іде за постійної температури, так як $C = 1 - 2 + 1 = 0$ ($K = 1$, $\Phi = 2$). Сплав I кристалізується в інтервалі температур ($C = 2 - 2 + 1 = 1$), на кривій охолодження є дві точки перегину.

При аналізі діаграми стану можуть виникнути питання про фазовий склад якого-небудь сплаву за даної температури, про відносну кількість кожної з фаз, про концентрацію в цих фазах компонентів. Відповідь на ці запитання можна отримати за допомогою правила відрізків.

Наприклад, для сплаву I за температури точки b потрібно отримати відповідь на вказані запитання. Проводимо через точку b відрізок горизонтальної прямої до перетину з лініями діаграми NKM і NGM відповідно в точках a та c , які мають назву точки ноди.

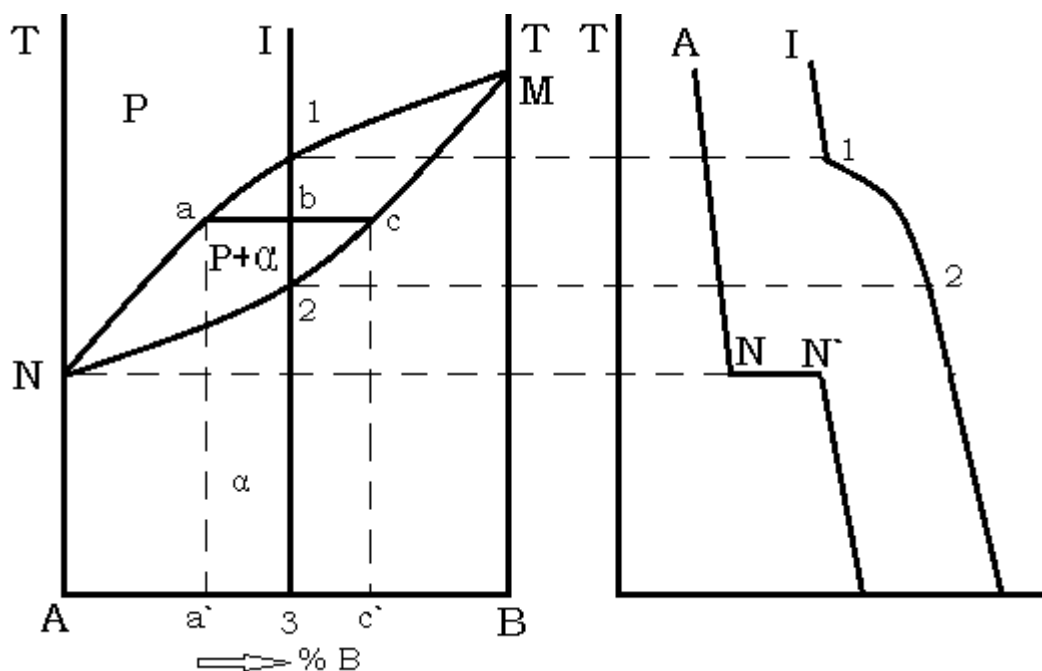


Рис. 25. Діаграма стану системи з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому та твердому стані та термічні криві охолодження чистого компонента (металу) А і сплаву І

Кінці такого відрізка, названого конода, впираються в однофазні області рідкої фази і α -твердого розчину. Отже, ці фази будуть в сплаві І за температури точки b. При цьому склад рідкої фази визначається проекцією точки a на вісь концентрації (точка a'), а склад α -твердого розчину – проекцією точки c (точка c'). Відносна кількість кожної з фаз визначається з співвідношення відповідних відрізків коноди:

$$\frac{\% P}{\% \alpha} = \frac{bc}{ab}.$$

Відносна кількість кожної фази визначається наступним чином. Всю довжину коноди ac приймаємо за 100 % сплаву, тоді кількість, наприклад, рідкої фази буде пропорційна довжині відрізка bc, протилежного відносно області рідкої фази, віднесеного до всієї довжини коноди ac:

$$\%P = \left(\frac{bc}{ac} \right) \cdot 100\%$$

Аналогічно кількість твердої α -фази у сплаві І за температури точки **в** визначається таким співвідношенням:

$$\% \alpha = \left(\frac{ab}{ac} \right) \cdot 100\%.$$

Дуже часто реальні подвійні системи описуються діаграмами з евтектиками. На рис. 26 зображена діаграма з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані, відсутністю розчинності в твердому стані із евтектикою.

Лінія CED – лінія ліквідусу, лінія FEN – лінія солідусу. Первинна кристалізація сплавів, які містяться, наприклад, лівіше точки E, іде з утворенням кристалів компоненту А в інтервалі температур t_1 - t_2 ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При цьому склад рідкої фази змінюється по лінії CE від точки 1 до точки E (див. правило відрізків). При температурі, що відповідає лінії FEN, для всіх сплавів даної системи буде йти евтектичне перетворення, яке зводиться до того, що з рідини складу т.Е одночасно і спільно кристалізується суміш двох твердих фаз, в даному випадку – кристалів компонентів А і В:



Така суміш двох твердих фаз називається евтектикою, а точки E і лінія FEN називаються евтектичними. Це перетворення іде за постійної температури, оскільки $C = 2 - 3 + 1 = 0$ (див. рис. 26).

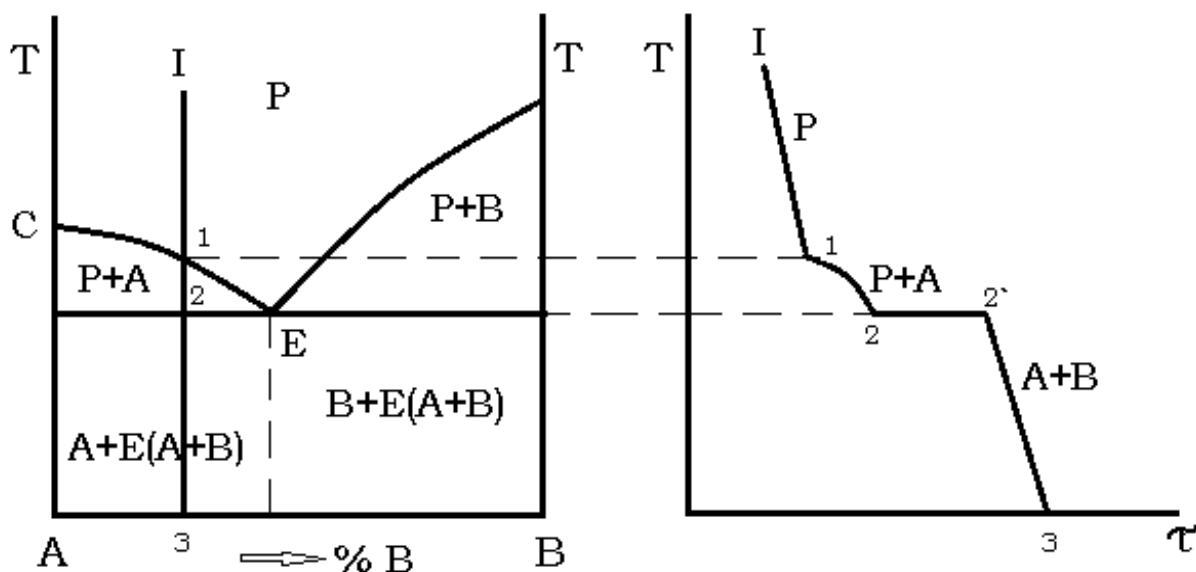


Рис. 26. Діаграма стану з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані, відсутністю розчинності в твердому стані і з евтектикою

Отже, в структурі всіх сплавів розглянутої системи буде присутня евтектика (A + B). Крім цього, в структурі доевтектичних сплавів (лівіше т.Е) будуть первинні кристали А, а в заевтектичних сплавах (правіше т.Е) – кристали В.

Зображена на рис. 27 діаграма відрізняється від попередньої наявністю обмеженої розчинності компонентів один в одному в твердому стані. Евтектика в даному випадку складається з суміші α - і β -фаз – твердих розчинів на основі відповідних компонентів А і В. Діаграма включає в себе лінії соль вуса FK і NL – лінії граничної розчинності одного компоненту в іншому у твердому стані. Наприклад, точка F (відповідно відрізок AF') показують розчинність компонента В у α -твердому розчині за температури евтектичного перетворення, а точка К (відрізок АК) максимальну розчинність компонента В у А за кімнатної температури. Тобто при охолодженні розчинність зменшується ($AK < AF'$), α -твердий

розчин стає пересиченим і з нього виділяється надлишок компонента В, на основі якого утворюється β -фаза, яку позначають як вторинну.

Аналогічно з кристалів β -твердого розчину виділяються вторинні кристали α_{II} .

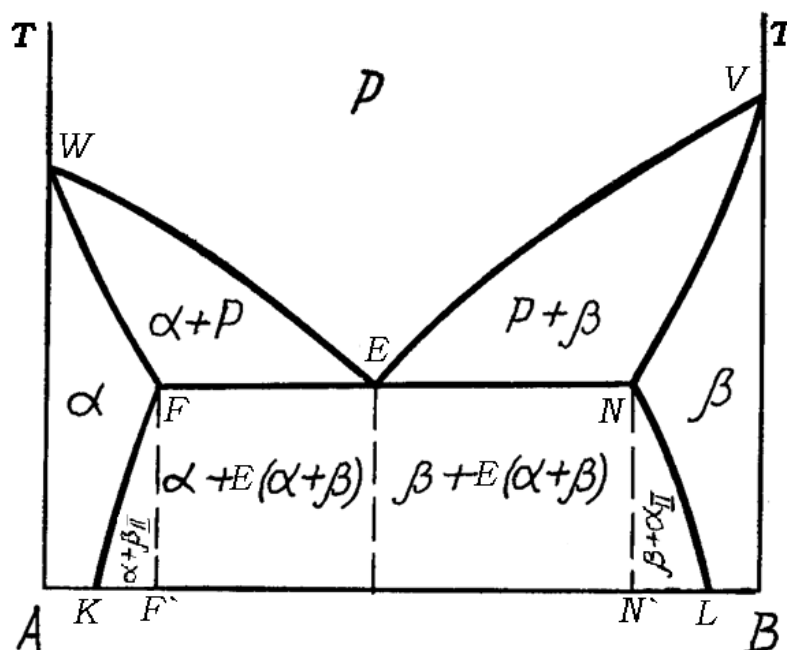


Рис. 27. Діаграма стану з обмеженою розчинністю в твердому стані

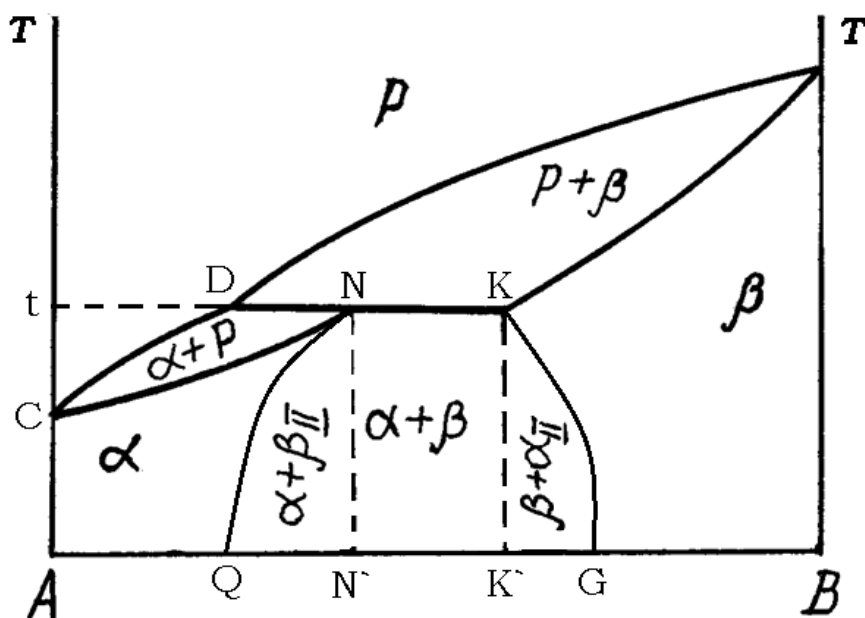
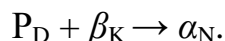


Рис. 28. Діаграма стану з перитектичним перетворенням

В подвійних системах з обмеженою взаємною розчинністю компонентів в твердому стані може мати місце і так зване перитектичне перетворення (рис. 28). Рідина і раніше виділені з неї кристали β -фази взаємодіють один з одним за температури t (лінія DNK) і утворюють нову тверду фазу α :



Одна з вихідних фаз може при цій реакції бути присутньою в надлишку і частково зберігатися після її завершення.

В подвійних системах можуть утворюватися хімічні сполуки. На рис. 29 показано, як приклад, діаграму стану подвійної системи із стійкою хімічною сполукою за відсутності розчинності в твердому стані, область існування якої зображується вертикальною прямою лінією DLN_{x.c.} Хімічна сполука x.c. може розглядатися як додатковий, третій компонент і тоді всю систему можна розділити на дві підсистеми і аналізувати кожну окремо: A-x.c. та X.c.-B.

У випадку, коли компоненти системи можуть мати поліморфні модифікації, діаграми стану мають більш складний вигляд. Так, на рис. 30 зображена діаграма стану, в якій низькотемпературні модифікації компонентів A_α і B_α утворюють обмежені тверді розчини α і β . У такій системі за температури t (лінія KEF діаграми) проходить евтектоїдне перетворення:



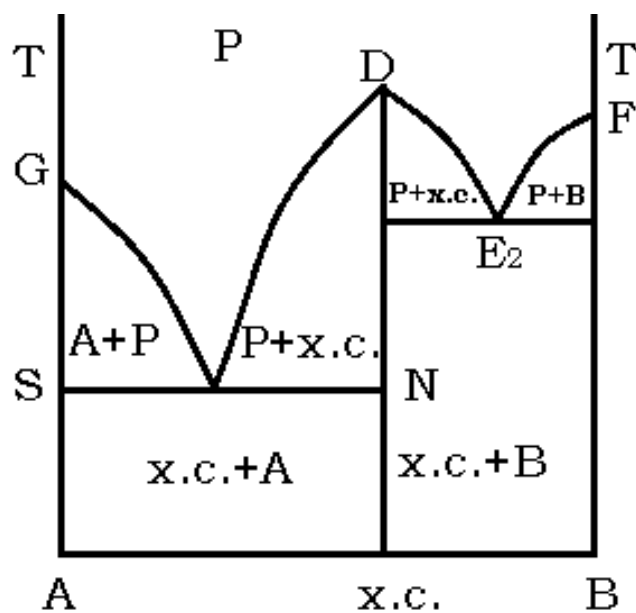


Рис. 29. Діаграма стану подвійної системи із стійкою хімічною сполукою

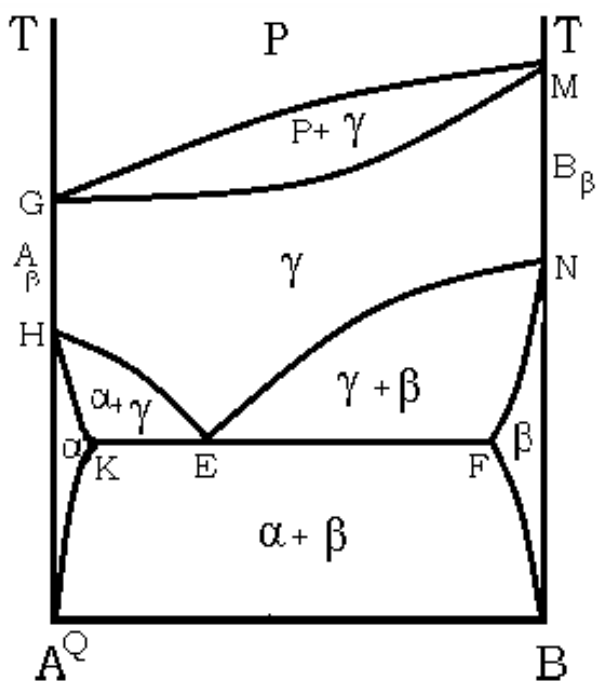


Рис. 30. Діаграма стану системи з евтектоїдним перетворенням

Реальні діаграми стану подвійних систем, як правило, більш складні і являють собою комбінації з кількох розглянутих вище діаграм.

5.2.2. Завдання

Зробити аналіз діаграм стану подвійних систем.

Для заданих сплавів побудувати криві охолодження з використанням правила фаз, описати процес кристалізації і намалювати кінцеві структури; нанести приклад використання правила відрізків.

Скласти звіт про роботу.

5.3. Тема: Діаграма стану системи залізо – вуглець

Мета: вивчити діаграму стану системи залізо – вуглець та взаємозв'язок між властивостями сталей та їх кількісним хімічним складом.

5.3.1. Короткі теоретичні відомості

При аналізі залізовуглецевих сплавів користуються двома діаграмами стану (рис. 31), метастабільною що характеризує перетворення в системі залізо-цементит (суцільні лінії) та стабільною, що характеризує перетворення в системі залізо-графіт (пунктирні лінії). Система залізо-графіт більш стабільна, ніж система залізо-цементит, бо при нагріванні до високих температур цементит може розкластися на залізо та графіт, тобто переходить у більш стабільний стан. Ці діаграми є неповними (до 6,67 % карбону). Це пояснюється тим, що практичне використання мають сплави заліза з вуглецем (сталі та чавуни) із вмістом вуглецю до 5-6 %.

Залізу, на основі якого формуються сплави, притаманний поліморфізм. В інтервалах температур від 1539 °C (температура кристалізації заліза (т.А)) до 1392 °C (т.Н) і нижче 911 °C (т.Г) існує α -Fe з ОЦК решіткою. В інтервалі температур від 1392 °C (т.Н) до 911 °C (т.Г) існує γ -Fe з ГЦК решіткою.

Вуглець може розчинятися в обох модифікаціях заліза. Твердий розчин вуглецю в α -Fe називається феритом (Ф). максимальна розчинність (максимальний вміст) вуглецю у високотемпературній модифікації α -Fe дорівнює 0,1 % С (т.Н), а в низькотемпературній – 0,02 % С (т.Р).

Твердий розчин вуглецю в γ -Fe має назву аустеніт (А). Максимально можливий вміст вуглецю в аустеніті – 2,14 % (т.Е).

Залізо з вуглецем можуть утворювати хімічну сполуку – карбід заліза Fe_3C , що має назву цементит (Ц). Цементит вміщує 6,67 % С, має складну орторомбічну решітку і на діаграмі йому відповідає вертикальна лінія DFKL.

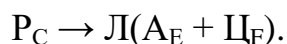
В рідинному стані залізо та вуглець утворюють необмежений рідкий розчин, область існування якого на діаграмі розташована вище лінії ліквідусу ABCD (ABC'D').

Лінія АНІЕСF (АНІЕ'С'F') – лінія солідусу, нижче якої всі сплави перебувають у твердому стані.

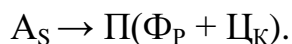
В залізовуглецевих сплавах залежно від їх складу та температури мають місце трифазові перетворення. Так, за температури 1499 °С (лінія НІВ) відбувається перитектичне перетворення, тобто рідина складу т.В взаємодіє з кристалами фериту складу т.Н з утворенням аустеніту складу т.І:



За температури 1147 °С (лінія ECF) має місце евтектичне перетворення, коли рідка фаза складу т.С кристалізується з утворенням двох твердих фаз – аустеніту складу т.Е та цементиту:



Ця евтектична суміш аустеніту та цементиту одержала назву ледебурит (Л). нижче 727 °С ледебурит складається з цементиту та перліту, тому що за температури 727 °С (лінія PSK) має місце евтектоїдне перетворення, коли аустеніт розкладається, утворюючи суміш фериту та цементиту, що називається перлітом (П):



В процесі первинної кристалізації нижче лінії CD із рідкої фази іде виділення цементиту, який має назву первинний (Ц_I).

Лінії ES та PQ – лінії сольвуса, тобто лінії граничної розчинності вуглецю в γ - та α -Fe відповідно. Тому за температур нижче ліній з аустеніту та фериту йде виділення відповідно вторинного цементиту Ц_{II} та третинного цементиту Ц_{III} .

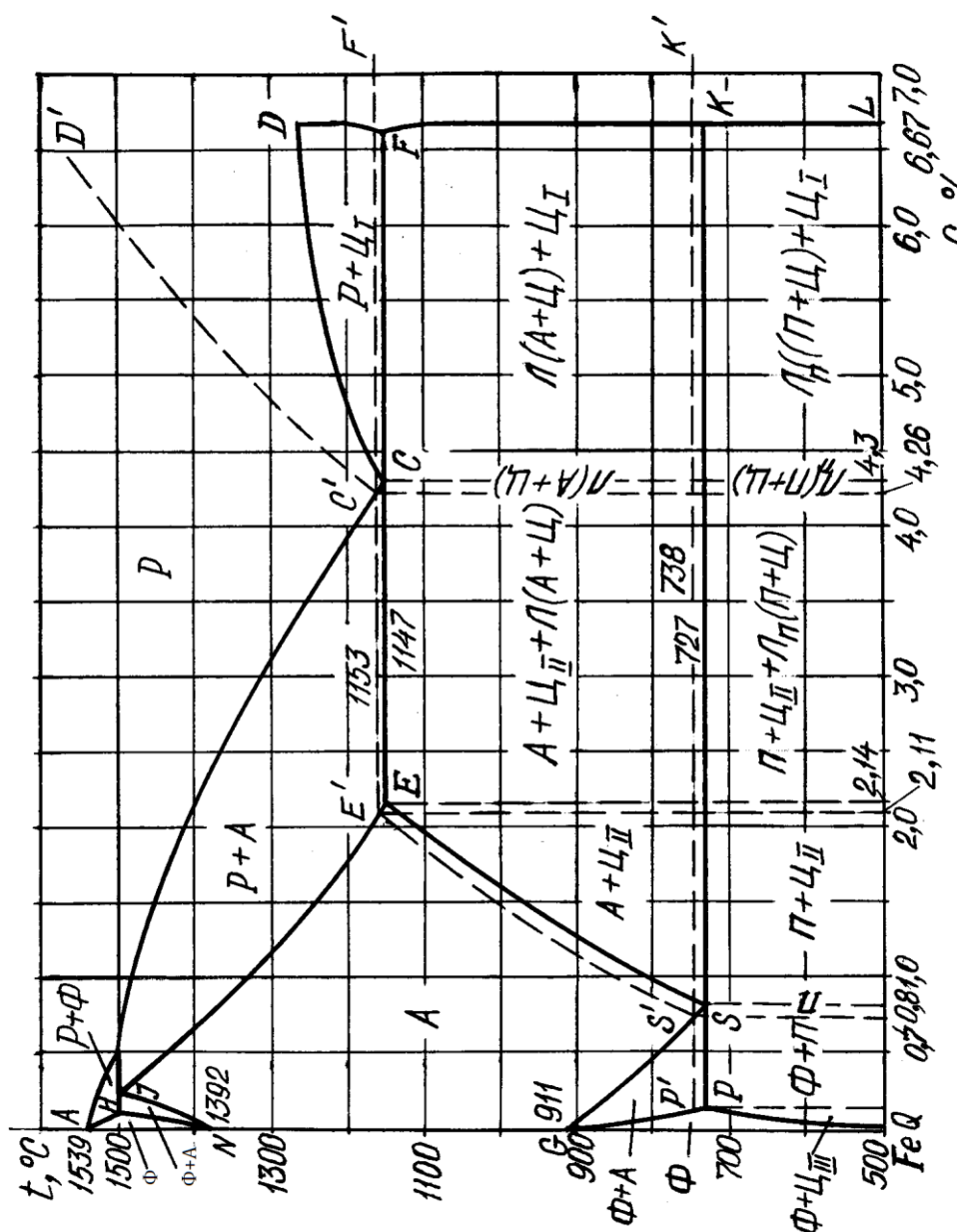


Рис. 31. Діаграма стану системи залізо – цементит (вуглець)

В інтервалі температур між лініями GS та GP відбувається нижнє поліморфне перетворення: аустеніту у ферит (при охолодженні) чи фериту

в аустеніт (при нагріванні), що зв'язано з перебудовою кристалічних решіток ГЦК в ОЦК. Подібне перетворення відбувається також в інтервалі температур між лініями NI та NH (верхнє поліморфне перетворення).

5.3.2. Завдання

Накреслити діаграму стану Fe-Fe₃C та позначити положення ліній стабільної рівноваги Fe-C. Дати визначення усім точкам і лініям діаграми стану, а також усім структурним складовим сплавів. Побудувати криві охолодження для сплавів з концентрацією вуглецю 0,05 %; 0,45 %; 1,0 %; 2,14 %; 3,5 %; 6,0 % та описати процеси, які відбуваються при охолодженні даних сплавів.

5.4. Тема: Сталі та білі чавуни

Мета: дослідити та вивчити структуру сталей та білих чавунів.

5.4.1. Короткі теоретичні відомості

Залізовуглецеві сплави, які містять до 0,02 % С мають назву технічне залізо. Якщо вміст вуглецю складає від 0,02 % до 2,14 %, то такі сплави називаються сталями, а вище 2,14 % – чавунами.

Технічне залізо, що вміщує менш ніж 0,0002 % С за кімнатної температури, має структуру фериту.

При збільшенні вмісту вуглецю до 0,02 % на межах зерен з'являються прошарки третинного цементиту. Його поява знижує пластичність заліза. Цементит, як і ферит, після травлення розчином азотної кислоти у спирті залишається світлим, протравлюються тільки границі зерен. Для посилення контрасту між цементитом та феритом мікрошліф протравлюють пікратом натрія, який надає цементиту темного кольору.

Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють на такі:

1. Доевтектоїдні, що вміщують до 0,8 % С. Структура цих сталей – світлі зерна фериту та темні перліту. При великому збільшенні перліт виглядає під мікроскопом як набір світлих пластин фериту та цементиту, які чергуються і мають темні границі між собою. При невеликому збільшенні (у 100-200 разів) границі таких пластин зливаються, що надає перліту темного забарвлення. Разом із збільшенням вмісту вуглецю кількість перліту збільшується, а фериту – зменшується.
2. Евтектоїдні, що вміщує 0,8 % С. Структура сталі перлітна.

3. Заевтектоїдні, що вміщують понад 0,8 % С. Структура цих сталей – темні зерна перліту, на границі між ними світла сітка цементиту.

Властивості сталі, як і структура, залежать від вмісту вуглецю. Структуру сталей формують дві фази: пластичний та м'який ферит (НВ 80-100) і крихкий, твердий цементит (НВ 800).

Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі кількість цементиту зростає, а фериту знижується, що і зумовлює підвищення твердості та зниження пластичності і в'язкості (рис. 32). Частки цементиту збільшують опір переміщенню дислокацій, тобто збільшують границю міцності та границю текучості. Проте при вмісті вуглецю більше 0,8-1,0 % границя міцності зменшується, що пояснюється виділенням в таких сталях по межах перлітних зерен суцільної сітки дуже крихкого вторинного цементиту. При випробуваннях на розтяг в цій сітці з'являються високі напруги і має місце руйнування зразка при відносно невеликому навантаженні. Мікроструктурний аналіз дає можливість більш-менш точно визначити вміст вуглецю в сталі. Якщо не враховувати дуже малого вмісту вуглецю в фериті, можна вважати, що в доевтектоїдних сталях весь вуглець міститься в перліті.

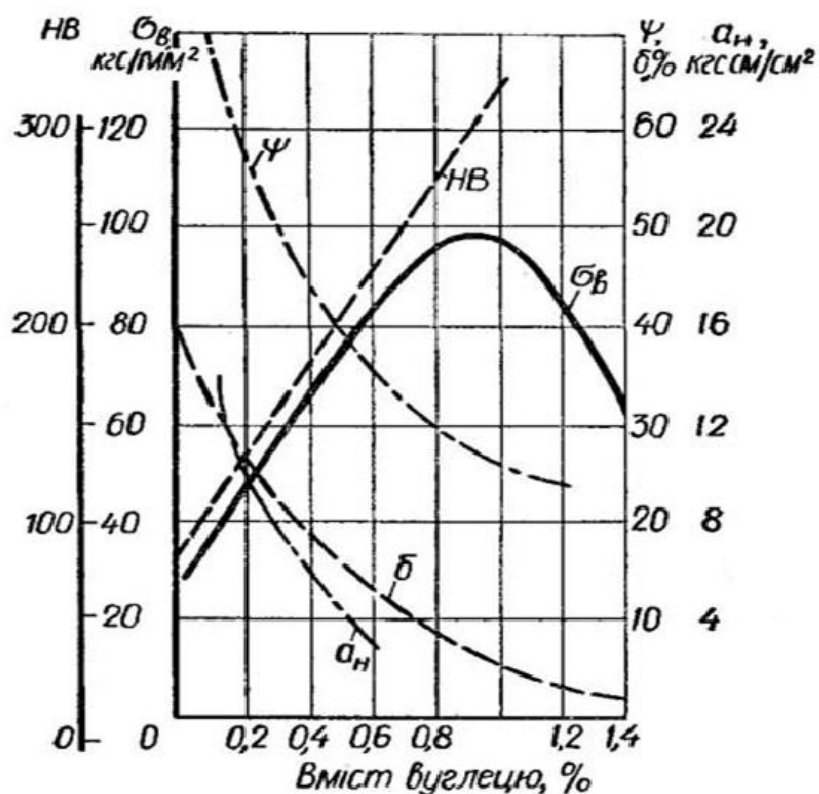


Рис. 32. Залежність механічних властивостей сталей від вмісту вуглецю

При необхідності можна розрахувати вміст вуглецю в таких сталях:

$$\% \text{ C} = \frac{\text{П}\% \cdot 0,8\%}{100\%},$$

де П% – площа, що займає перліт.

Вміст вуглецю в заєвтектоїдних сталях:

$$\% \text{ C} = \frac{\text{П}\% \cdot 0,8\% + \text{Ц}\% \cdot 6,67\%}{100\%},$$

де Ц % – площа, що займає вторинний цементит.

За призначенням вуглецеві сталі поділяються на дві основні групи: конструкційні та інструментальні.

Конструкційні вуглецеві сталі (вміст вуглецю до 0,7-0,85 %) широко використовують в промисловості. Низьковуглецеві сталі 05, 08, 10 з 0,05-0,1 % С використовують для штампованих та зварних виробів (баки, котли,

кузова, крила автомобілів, диски коліс тощо). Механічні властивості після нормалізації: $\sigma_{\text{тим}}=340$ МПа, $\sigma_{0,2}=200-210$ МПа, $\delta=31-33$ %.

Сталі 15, 20, 25 з 0,15-0,25 % С використовують без термічної обробки або в нормалізованому стані для виготовлення цементованих виробів (вали, шестерні, кулачки тощо). Сталі з таким вмістом вуглецю у вигляді кутиків, швелерів та балок застосовують для металоконструкцій ($\sigma_{\text{тим}}=380-460$ МПа, $\sigma_{0,2}=230-280$ МПа, $\delta=23-27$ %).

Більшість деталей в машинобудуванні (осі, вали, шестерні, втулки, болти тощо) виготовляють із середньовуглецевих сталей 30, 35, 40, 45, 50 з 0,3-0,55 %С. ($\sigma_{\text{тим}}=500-610$ МПа, $\sigma_{0,2}=300-360$ МПа, $\delta=16-21$ %).

Конструкційні сталі 60, 65, 70, 80 і 85 з підвищеним вмістом вуглецю до 0,6-0,85 % використовують після гартування і середнього відпуску ($\sigma_{\text{тим}}=800$ МПа; HRC 40-45) головним чином як пружинно-ресорні.

Сталі У7 (У7А), У10 (У10А), У11 (У11А), У12 (У12А), що мають 0,7-1,3 % С використовують для виготовлення різального та штампованого інструменту (зубила, різці, свердла, фрези, плашки, пуансони, матриці тощо). Вуглецеві інструментальні сталі у відпаленому стані характеризуються невисокою твердістю (НВ 1660-1920) і задовільною оброблюваністю різанням та тиском. Після гартування та низького відпуску твердість становить HRC 60-65, границя міцності на згин $\sigma=250-350$ МПа.

Як було вказано вище, чавунами називають залізовуглецеві сплави, що містять у собі понад 2,14 % С. При підвищених швидкостях охолодження одержують білі чавуни. В них весь вуглець перебуває в зв'язаному стані у вигляді хімічної сполуки із залізом – цементиті, що надає зламам таких чавунів білого кольору. Білі чавуни, фазові перетворення в яких проходять згідно з метастабільною діаграмою Fe – Fe₃C, поділяють на доєвтектичні, евтектичні та заєвтектичні.

Структура доєвтектичних білих чавунів, тобто чавунів з вуглецем до 4,3 %, складається з великих темних зерен перліту дендритної форми, світлого вторинного цементиту, що оточує ці зерна, та ледебуриту, що має плямисту структуру (темні невеликі зерна перліту на фоні (тлі) світлого цементиту).

Евтектичний чавун з 4,3 % має ледебуритну структуру.

В заєвтектичних білих чавунах, що вміщують від 4,3 до 6,67 % С, окрім ледебуриту в структурі присутні великі світлі голки (пластини) первинного цементиту.

Через велику кількість цементиту білі чавуни дуже тверді та крихкі (НВ 4500-5500), тому для виготовлення деталей машин вони практично не використовуються. Обережне застосування мають виливки з чавуна, що на поверхні мають структуру білого чавуну, а в серцевині – сірого чавуну з графітом пластинчастої форми. Проте така структура сприятлива для деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу (прокатні валки, кулі кульових млинів, колеса вагонеток тощо). Виливки з білого чавуну підлягають відпалу для одержання структури ковкого чавуну. У цьому випадку хімічний склад сплаву, що заливається у форми, наступний: 2,4-2,6 % С, 1,0-1,6 % Si; 0,3-1,0 % Mn. Вміст вуглецю і кремнію підбирають з розрахунку $Si + C \leq 3,8 \%$. При такому складі сплаву та прискореному охолодженні (для цього товщина стінок виливки не повинна перевищувати 20 мм, в окремих випадках 50 мм) формується структура білого доєвтектичного чавуну $\Pi + Л(\Pi + Ц) + Ц_{\Pi}$.

5.4.2. Завдання

Дослідити структуру сталей і визначити вміст вуглецю в них. Замалювати вивчені структури, вказати під кожним рисунком назву та марку сталі, вміст в ній вуглецю і позначити структурні складові. Дати

визначення білих чавунів. Вивчити, замалювати і пояснити їх мікроструктуру. Вказати хімічний склад. Описати процес структуроутворення білих чавунів. Описати властивості і назвати галузі практичного застосування білих чавунів.

5.5. Тема: Сірі, ковкі та високоміцні чавуни

Тема: вивчити структуру сірих, ковких та високоміцних чавунів.

5.5.1. Короткі теоретичні відомості

В чавунах весь вуглець або частина його може перебувати у вільному стані – у вигляді графіту. Графіт має темно-сірий колір, тому злам таких чавунів теж матово-сірий. За рахунок графіту чавуни мають знижену твердість, добре обробляються різанням, мають високі антифрикційні властивості як наслідок низького коефіцієнту тертя. Разом з тим включення графіту знижують міцність та пластичність, тому що при накладанні зовнішніх навантажень вони відіграють роль концентраторів напруг.

Структура металевої основи таких чавунів може бути феритною, ферито-перлітною або перлітною. Від структури металевої основи залежить головним чином границя міцності на стискування та твердість чавуну, при чому відмінність цих властивостей від властивостей сталі невелика.

У залежності від форми графітних включень розрізняють такі чавуни:

- сірий чавун з пластинчатою формою графіту;
- високоміцний чавун з кулястим графітом;
- ковкі чавуни з графітом у формі пластівців.

Структура сірого чавуну, як і білого, формується під час первинної кристалізації рідкого сплаву, але при більш повільному охолодженні. Перетворення, які при цьому мають місце, відповідають стабільній діаграмі залізо – графіт. Так, за температур, що відповідають лінії $C'D'$

(рис. 33), починається кристалізація графіту. За температури 1153 °C (лінія E'C'F') утворюється графітна евтектика (аустеніт + графіт).

При зниженні температури до 738 °C (у відповідності з лінією S'E') з аустеніту виділяється вторинний графіт, при 738 °C (лінія P'S'K') утворюється евтектоїд, який складається з фериту та графіту. Більшість графіту в сірих чавунах з'являється під час первинної кристалізації із рідкої фази. Евтектичний, евтектоїдний та вторинний графіти самостійних виділень не утворюють, а нашаровуються на первинний графіт.

Окрім повільного охолодження сильною графітізуючою дією виділяється кремній, тому для формування структури сірого чавуну в нього додають до 3-4 % кремнію. Корисним в чавунах є фосфор, тому що він утворює легкоплавку фосфідну евтектику з низькою температурою плавлення. Вона суттєво збільшує рідинноплинність, що особливо важливо при виробництві тонкого та фасованого литва. Наявність в структурі чавуну включень фосфідної евтектики підвищує також антифрикційні властивості. Більшу міцність мають чавуни з невеликими за розміром графітними включеннями, якщо вони до того ж мають завихрену форму та ізольовані один від одного.

Чавун з великою кількістю прямолінійних великих графітних пластин, гострі кромки, яких виступають як активні концентратори напруги, має грубозернистий злам та низькі механічні властивості. Пластичність сірого чавуну практично нульова ($\delta \sim 0,5\%$).

Незважаючи на низькі механічні властивості, сірі чавуни мають цілий ряд позитивних якостей, що і обумовлює їх широке застосування (як ливарні матеріали, які дешеві, добре обробляються різанням, мають високі антифрикційні та антикорозійні властивості, витримують стискальні навантаження, гасять вібрацію та малочутливі до зовнішніх концентраторів напруги (надрізи, виточки тощо). Із сірих чавунів

виготовляють станини верстатів, блоки циліндрів, поршневі кільця, сантехнічні вироби, корпуси редукторів тощо.

Приклад маркування: СЧ 25 – сірий чавун з межею міцності при розтягуванні приблизно 250 МПа.

Висока міцність високоміцних чавунів зумовлена кульовидною формою графітних включень. Які хоч і є концентраторами напруги, але значно менш активними, ніж графітні включення з пластинчатою формою в сірих чавунах. Щоб отримати кульовидний графіт, рідкий чавун перед розливкою модифікують, тобто вводять у нього магній у невеликій кількості (до 0,02-0,08 %). Але у зв'язку з тим, що модифікування чистим магнієм супроводжується сильним піроефектом, часто замість магнію вводять так звані лігатори (наприклад, сплав магнію та нікелю).

Високоміцні чавуни ефективно замінюють сталь у багатьох виробках та конструкціях. Із них виготовляють колінчаті вали двигунів, поршні, шестірні, прокатні валки, корпуси парових турбін.

Приклад маркування: ВЧ 40 – високоміцний чавун з межею міцності при розтягуванні 400 МПа.

Графітні включення у формі пластівців, що є характерною ознакою ковких чавунів, утворюються під час відпалу білих доєвтектичних чавунів. Такий графіт на відміну від пластинчатого менше знижує механічні властивості. Тому ковкий чавун порівняно з сірим більш міцний та пластичний.

Виливки (тобто вироби готової кінцевої форми) з білого чавуну, що відпалюються на ковкий чавун, повинні бути тонкостінними, з товщиною стінки не менше 50 мм, інакше в середині виробу за рахунок повільного охолодження буде утворюватися пластинчатий графіт, як в сірому чавуні. В останньому випадку такий чавун не придатний до відпалу, оскільки не забезпечить потрібного рівня механічних властивостей готового виробу. З

цієї ж причини первинні білі чавуни повинні мати знижений вміст графітізуючих елементів – вуглецю та кремнію.

Схема режиму відпалу білого чавуну на ковкий наведена на Рис. 33.

Суть процесу графітізації при відпалі білих чавунів полягає в розпаді цементиту. На першій стадії графітізації цементит (вторинний Ц і той, що входить в ледебурит) розпадається на аустеніт та графіт пластівчастої форми:

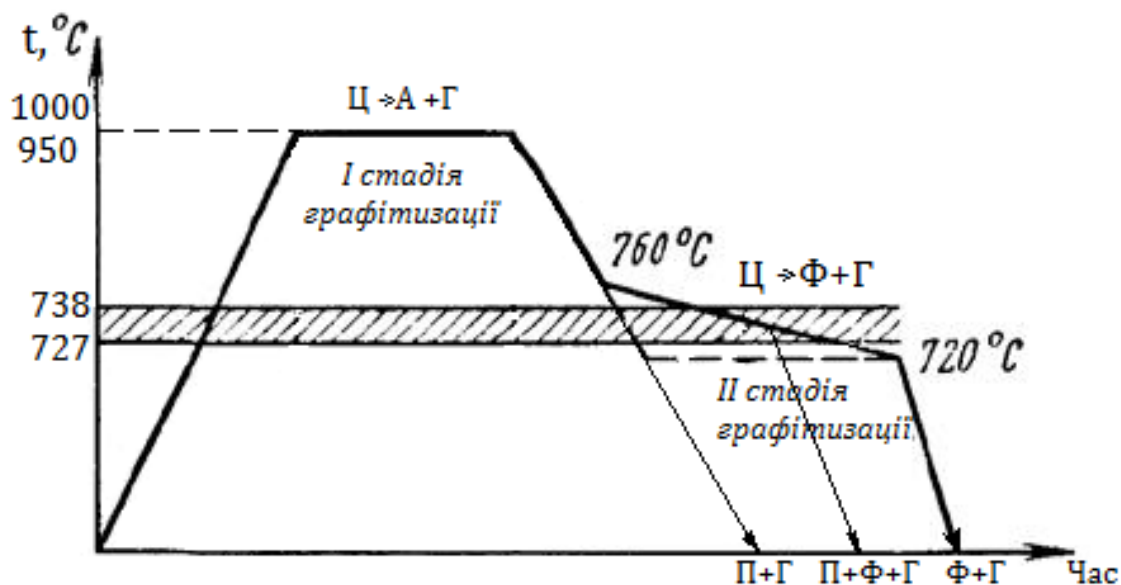
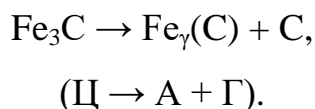
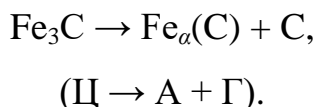


Рис. 33. Схема режиму відпалу білого чавуну на ковкий

При прискореному охолодженні після першої стадії графітізації аустеніт перетворюється в перліт – так отримують ковкий чавун на перлітній основі. Для одержання ковкого чавуну на феритній основі проводять II стадію графітізації або при дуже повільному охолодженні в евтектоїдному інтервалі температур, або при тривалій витримці (25-30 годин) трохи нижче температури евтектоїдного перетворення (720-

740°C). В результаті цього має місце розпад вторинного цементиту (якщо він встиг утворитися) та цементиту перліту:



Такий режим термообробки призводить до отримання ковкого чавуну на феритній основі. Якщо II стадію графітизації до кінця не доводити, можна одержати ковкий чавун на феритно-перлітній основі.

Ковкі чавуни знайшли широке застосування. З них виготовляють картери редукторів, крюки, скоби, фланці, елементи карданних валів, гальмівні колодки та інше.

Приклад маркування: КЧ 35-10 – ковкий чавун, що має границю міцності при розтягуванні 350 МПа та відносне подовження 10 %.

5.5.2. Завдання

Вивчити структури всіх чавунів. Замалювати досліджені структури і вказати найменування структурних складових.

5.6. Тема: Термічна обробка сталі

Мета: вивчити будову та властивості сталей, що пройшли гартування та відпускання.

5.6.1. Короткі теоретичні відомості

Термічною обробкою називають технологічні процеси, які складаються з нагрівання, ізотермічної витримки і охолодження металевих деталей з метою зміни їх структури і властивостей. Найпоширенішими видами термічної обробки є гартування і відпуск.

Гартуванням називається сукупність дій нагрівання сталі до аустенітного стану (вище фазових перетворень), витримки і наступного охолодження зі швидкістю, яка перевищує, критичну, з метою одержання в α -залізі пересиченого твердого розчину (мартенситу), який має максимальну твердість.

Критичною швидкістю гартування називається мінімальна швидкість охолодження, при якій аустеніт перетворюється в мартенсит. Для визначення критичної швидкості гартування проводять дотичну до С-подібної кривої на діаграмі ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту (рис. 34).

В деяких випадках метою гартування є отримання бейнітних структур. Механічні властивості, які отримує сталь після гартування, визначаються хімічним складом сталі, температурою нагріву під гартування і швидкістю охолодження.

Температура нагріву під гартування визначається складом сталі, і для вуглецевих сталей її можна визначити по діаграмі стану системи Fe-Fe₃C.

Залежно від температури нагрівання розрізняють повне і неповне гартування сталі.

Повним називають гартування з нагріванням до температур однофазної аустенітної області, неповним – з нагріванням до міжкритичних температур, при яких залежно від вмісту вуглецю в сталі на рівні з аустенітом зберігається надлишкова фаза – ферит або вторинний цементит.

Двоевтектоїдні сталі піддають повному гартуванню. Оптимальною температурою нагрівання є температура, яка перевищує точку A_{c3} на 30-50 °С. Неповне гартування двоевтектоїдної сталі не рекомендується, тому що присутність кристалів надлишкового фериту в структурі загартованої сталі помітно зменшує її твердість. Сильне перегрівання двоевтектоїдної сталі, тобто нагрівання до температур, що значно перевищують критичну точку A_{c3} , сприяє росту аустенітного зерна, що збільшує схильність сталі до деформації і утворення тріщин при гартуванні. Структура такої сталі в загартованому стані буде складатись із крупногочастого мартенситу, який має знижену ударну в'язкість.

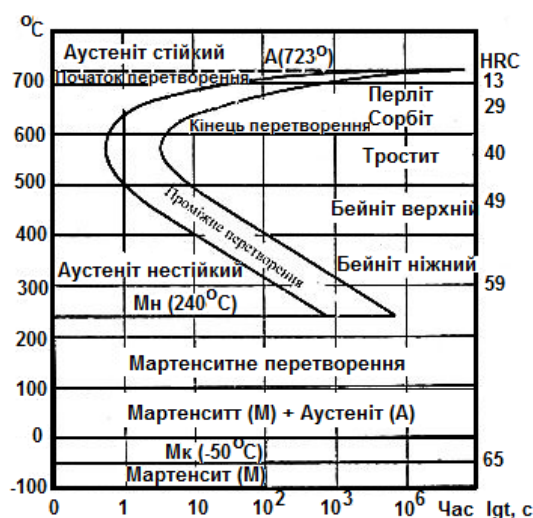


Рис. 34. Діаграма ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту

Заевтектоїдні сталі піддають неповному гартуванню. Оптимальною температурою нагрівання є температура на 30-50 °С вище точки A_{c1} . Неповне гартування заевтектоїдної сталі дозволяє зберігати в структурі вторинний цементит, який, не знижуючи твердості загартованої сталі, підвищує її зносостійкість. Гартування заевтектоїдних сталей від температур, що значно перевищують точку A_{c1} , супроводжується одержанням структури крупногочастого мартенситу з великою кількістю залишкового аустеніту. Присутність останнього призводить до зниження твердості загартованої сталі, а крупногочастість мартенситу знижує її ударну в'язкість. Перегрівання заевтектоїдних сталей вище точки A_{cm} (лінія SE) призведе до розчинення вторинного цементиту, укрупнення зерна, збільшення гартівних напруг і знеуглецювання сталі з поверхні. В структурі сталі поряд з крупногочастим мартенситом буде спостерігатись дуже велика кількість залишкового аустеніту. Твердість загартованої сталі і її зносостійкість будуть невисокими.

Оптимальні інтервали температур для нагрівання вуглецевих сталей під гартування приведені на рис. 35.

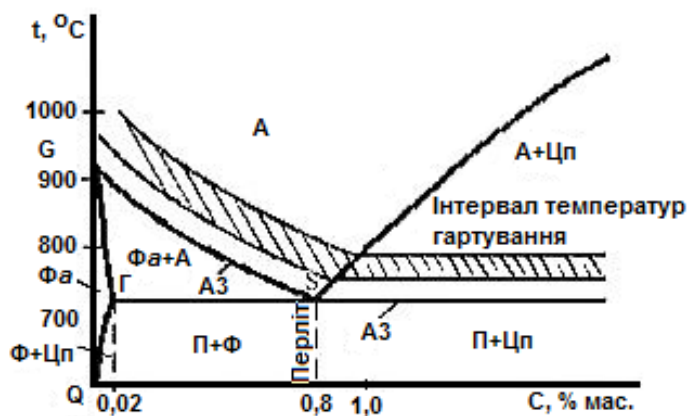


Рис. 35. Оптимальний варіант температур гартування вуглецевих сталей

Швидкість нагрівання сталей під гартування в електричних повітряних печах рівна приблизно 1 хвилина на 1 мм перерізу. Час витримки, як правило, приймають рівним $1/5$ часу нагрівання.

Характер структур, які утворюються при гартування, а також їх твердість залежать від швидкості охолодження.

При невеликих швидкостях охолодження перетворення аустеніту відбувається при незначному переохолодженні відносно температури точки A_1 (перетворення аустеніту в перліт по діаграмі стану залізо-цементит). В результаті утворюється досить груба суміш фериту і цементиту, яку називають перліт, твердість якого 180-250 НВ. Збільшення швидкості охолодження призводить до зниження температури перетворення переохолодження аустеніту. При цьому збільшується дисперсність утворюваної ферито-цементитної суміші та підвищується її міцність і твердість. Така структура називається сорбітом і має твердість 250-350 НВ.

При подальшому зниженні температури розпаду переохолодженого аустеніту дисперсність продуктів розпаду збільшується настільки, що утворювану ферито-цементитну суміш стає неможливо диференціювати під мікроскопом. Така структура називається трооститом, з ферито-цементитних сумішей троостит має максимальну твердість, яка дорівнює 400-450 НВ.

При значних швидкостях охолодження у випадку придушення дифузійних процесів аустеніт переохолоджується до більш низьких температур і зазнає бездифузійного перетворення з утворенням мартенситу – пересиченого твердого розчину вуглецю в α -залізі з такою ж концентрацією вуглецю, як і у початкового аустеніту. Внаслідок цього кристалічна решітка твердого розчину викривлюється (спотворюється), а утворений мартенсит називається тетрагональним. Чим вищий вміст

вуглецю в аустеніті, тим більша тетрагональність і твердість мартенситу. При цьому достатньо висока твердість мартенситу досягається вже в сталях з вмістом вуглецю 0,3-0,95 % і зростає при його збільшенні.

Починаючи з концентрації 0,7-0,8 % вуглецю твердість загартованої сталі практично не змінюється. Це пов'язано з тим, що в загартованій сталі з вмістом вуглецю понад 0,5 % внаслідок великих структурних і термічних напруг не весь аустеніт перетворюється в мартенсит, а частина його залишається у вигляді залишкового аустеніту, який затиснутий між голками мартенситу. При цьому кількість залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі збільшується при збільшенні вмісту в ній вуглецю.

В якості гартівних середовищ найчастіше використовують йоду, водні розчини солей, лугів, мінеральні масла. Вибір гартівних середовищ проводиться виходячи з інтенсивності їх охолодження в інтервалах найменшої стійкості переохолодженого аустеніту і мартенситного перетворення.

Гартування сталі супроводжується значним збільшенням об'єму, що в умовах високої швидкості та неоднорідності перетворення по об'єму гартованої деталі спричинює появу значних внутрішніх напруг. Гартівні напруги можуть призвести до жолоблення виробів (деталей) і утворення тріщин в процесі гартування. Окрім того, залишкові високі напруги протягом часу в умовах експлуатації можуть спричинити деформацію деталей. В зв'язку з цим після гартування деталі завжди під дають відпусканню.

Відпуском називається процес, який складається з нагрівання загартованої сталі до температур нижче Ас₁, витримки і наступного охолодження (найчастіше на повітрі). Відпускання – це кінцева операція і проводиться не тільки для усунення внутрішніх напруг, а і для одержання

більш рівноважної структури, необхідного комплексу механічних властивостей (твердість, пластичність і в'язкість).

Розрізняють чотири перетворення при відпусканні загартованої сталі.

Перше перетворення при відпусканні – розпад мартенситу, який полягає у виділенні з перенасиченого твердого α -розчину вуглецю у вигляді дисперсних частинок карбіду заліза типу Fe_xC (ϵ -карбіду). При цьому спостерігається зменшення тетрагональності мартенситу (співвідношення c/a наближається до одиниці). Розпад мартенситу виразно фіксується вже при температурах 80-120 °C з підвищенням температури процес інтенсифікується і при 350-400 °C закінчується. Мартенсит, який утворюється при низькому відпусканні і збіднений вуглецем, називається відпущеним мартенситом і являє собою гетерогенну суміш перенасиченого α -розчину (неоднорідної концентрації) та ще не відокремлених частинок карбіду.

Друге перетворення проходить одночасно з першим в інтервалі температур 200-300 °C і пов'язане з перетворенням залишкового аустеніту у відпущений мартенсит.

Третє перетворення проходить в інтервалі температур 300-400 °C і складається з перетворення метастабільного карбіду в цементит. Розпад відпущеного мартенситу супроводжується утворенням високодисперсної ферито-цементитної суміші, яка називається трооститом відпуску.

Четверте перетворення пов'язане з процесом коагуляції фериту та цементиту, яке супроводжується зменшенням дисперсності ферито-цементитної суміші, структура при цьому стає зернистою (феритна матриця з округлими цементитними кристалами). Структура вуглецевої сталі, яка пройшла відпусканні при 500-650 °C, називається сорбітом відпуску.

На практиці розрізняють три відпускання загартованої сталі: низьке (100-200 °C), середнє (350-500 °C), високе (500-600 °C).

Загартована сталь (0,5-1,3 % C) після низького відпускання зберігає високу твердість в межах 58-63 HRC і, отже, має високі міцність і зносостійкість. Низькому відпусканню часто піддають різальний інструмент.

Середнє відпускання знижує твердість загартованої сталі до 40-50 HRC і забезпечує високу границю пружності, витривалості і релаксаційну стійкість. Його використовують головним чином при обробці ресор та пружин.

Високе відпускання значно зменшує твердість загартованої сталі (28-32 HRC), але забезпечує найкраще співвідношення міцності і в'язкості. Термічна обробка, яка складається із гартування сталі з наступним високим відпусканням, називається поліпшенням. Поліпшенню, як правило, піддають деталі, виготовлені із середньовуглецевих конструкційних сталей (вали, осі, зубчаті колеса).

5.6.2. Загальні рекомендації до виконання роботи

1. Час ізотермічної витримки зразків в нагрітій печі відлічується з того моменту, коли колір зразків співпадає з кольором пічного простору.
2. Для більш інтенсивного і рівномірного охолодження необхідно проводити безперервне перемішування в середовищі для гартування.
3. Перед вимірюванням твердості необхідно зачистити на абразивному крузі дві паралельні сторони кожного зразка.
4. Твердість зразка в початковому стані після нормалізації сталі 20 необхідно заміряти на приладі Роквелла сталевою кулькою при навантаженні 1000 Н за шкалою С.

5. Твердість зразків після гартування і відпускання заміряють на приладі Роквелла алмазним конусом при навантаженні 1500 по шкалі С.

6. Для побудови кривих твердості залежно від різних факторів одержані виміри на приладі Роквелла переводять в одиниці Брінелля по відповідних таблицях.

7. Для виконання роботи необхідно мати зразки сталей, муфельні печі, бачки з охолоджуючими середовищами, прилади Брінелля та Роквелла, наждачне точило, шліфувальний папір, полірувальний верстат, 3 %-вий розчин нітратної кислоти в етиловому спирті, металографічний мікроскоп, щипці та рукавиці.

5.6.3. Завдання 1

Печі, які нагріті до температур 650, 750, 800, 850 і 900 °С завантажити зразками доевтектоїдної сталі (сталь 45 або 50) у вигляді шайб діаметром 15-20 і висотою 10-15 мм. Після ізотермічної витримки протягом 15 хвилин зразки охолодити у воді. Заміряти твердість загартованих зразків. Одержані результати записати в таблицю 3 і побудувати графік змінювання твердості в координатах твердість (вісь ординат) – температура нагрівання (вісь абсцис). Користуючись діаграмою стану системи Fe-Fe₃C, провести аналіз мікроструктур сталей залежно від температури гартування.

Таблиця 3. Результати вивчення зразків

Температура нагрівання, °С	Твердість після гартування		Мікроструктура
	за Роквеллом HRC	за Брінеллем HB	
650			
750			
800			
850			

900			
-----	--	--	--

5.6.4. Завдання 2

П'ять зразків сталі завантажити в піч, яка нагріта до температури 850 °С. Після ізотермічної витримки на протязі 15 хвилин зразки (по одному) охолодити на повітрі, в маслі, лужному розчині і у воді. Зміряти твердість охолоджених зразків, результати записати в таблицю. Побудувати гістограму в координатах твердість (вісь ординат) – охолоджуюче середовище (вісь абсцис). Приготувати мікрошліфи зразків після охолодження на повітрі, у воді та маслі, роздивитись їх під мікроскопом і замалювати. Результати мікроструктурного аналізу занести в таблицю 4.

Таблиця 4. Результати дослідження зразків

Охолоджуюче середовище	Твердість після гартування, HRC	Мікроструктура
Повітря		
Вода, 20 °C		
Вода, 100 °C		
10 % розчин КОН у воді		
масло		

5.6.5. Завдання 3

Зразки сталей 20,45 і У8 завантажити в піч, яка нагріта до 850 °C. Після ізотермічної витримки протягом 15 хвилин зразки загартувати у воді. Заміряти твердість загартованих зразків і записати результати вимірювання. Побудувати графік залежності твердості від вмісту вуглецю в сталі у координатах твердість (вісь ординат) – вміст вуглецю в сталі (вісь абсцис).

5.6.6. Завдання 4

Заміряти твердість зразків в початковому (загартованому) стані. Завантажити по одному загартованому зразку в печі, які нагріті до температур 100,200, 300,400, 500 і 600 °C. Провести відпуск загартованої сталі протягом 60 хвилин і охолодити зразки після відпускання у воді для скорочення тривалості роботи. Заміряти твердість зразків після відпуску і результати вимірів занести в таблицю 5. побудувати графік зміни твердості залежно від температури відпуску в координатах твердість (вісь ординат) – температура (вісь абсцис). Приготувати мікрошліфи сталей, відпущених після гартування при температурах 200, 400, 600 °C і замалювати їх мікроструктури. При оформленні звіту необхідно описати методику

експерименту, замалювати мікроструктури, дати аналіз отриманих результатів, пов'язавши характер зміни твердості змінами мікроструктури.

Таблиця 5. Твердість зразків після відпуску

Температура відпуску, °C	Твердість після відпускання, HRC	Мікроструктура
100		
200		
300		
400		
500		
600		

5.7. Тема: Структури сталей після термічної та хіміко-термічної обробки

Мета: дослідити мікроструктуру та властивості сталей після термічної та хіміко-термічної обробки

5.7.1. Короткі теоретичні відомості

Структура сталі впливає на її властивості і в свою чергу визначається термічною обробкою. Основними видами термічної обробки є: відпал, нормалізація, гартування, відпуск та хіміко-термічна обробка.

Відпал приводить структуру сталі в стан рівноваги відповідно до діаграми залізо-цементит. Форма та розміри фазових складових будуть визначатися видом відпалу. Після повного відпалу (нагрів до температур аустенізації, витримка, охолодження з піччю) утворюється дрібнозерниста однорідна структура, у той час як після дифузійного відпалу у сталі сформується грубе зерно. Пом'якшуючий або сфероїдизуючий відпал приводить до появи зернистого перліту для евтектоїдної та заевтектоїдних сталей. Структура являє собою феритну основу з рівномірно розподіленими в ній кристалами цементиту округлої форми. Структура зернистого перліту має мінімальну твердість до 140 HB.

Після нормалізації за рахунок прискореного охолодження на повітрі від температур аустенізації зерно в сталі стає більш дрібним, а також підвищується ступінь дисперсності перліту.

Сталь після відпалу та нормалізації має високу пластичність, добре обробляється різанням, має твердість 160-260 HB.

Гартування приводить до утворення в сталях мартенситної структури, яка високу твердість (60-66 HRC). Крім мартенситу в сталі

присутній ликовий аустеніт, а в заевтектоїдних та багатьох легованих сталях - карбіди різній кількості та різного складу. Кристали мартенсита у вуглецевих сталях утворюють форму пластин, орієнтованих одна відносно другої під кутами 60 та 120 °. В мікроструктурах кристали мартенсита мають вигляд світлих голок (наслідок згину пластин площиною шліфа) на фоні сірувато-темного поля залишкового аустеніту. Карбіди (вони отримали назву залишкових) мають форму світлих кристалів округлої форми. При охолодженні сталей з швидкостями меншими за критичну можливе утворення ферито-карбідних сумішей з різною дисперсністю (перліт, сорбіт, троостит).

Відпуск загартованих сталей проводять для зняття внутрішніх напружень та і структури, яка визначає необхідні механічні властивості. Основний вплив властивості сталей справляє температура відпуску. При температурі відпуску 100-150 °C проходить частковий розпад мартенситу з утворенням мартенситу та карбідних фаз. Ці перетворення збільшують травлюваність мартенситу, й вже має вигляд темних голок на світлому фоні аустеніту. Підвищення температури відпуску до 250-300 °C призводить до повного розпаду залишкового аустеніту з утворенням мартенситу відпуску.

При подальшому підвищенні температури виникає після повного розпаду мартенситу ферито-карбідна суміш назвою троостит. При температурах відпуску 500-680 °C буде проходити коагуляція фазових складових з утворенням структури під назвою сорбіт. Термічна обробка, яка складається з гартування та відпуску при високих температурах, отримала назву поліпшення.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – це термічна обробка, яка поєднує теплову з хімічною, внаслідок чого змінюється хімічний склад та структура в поверхневих шарах, а іноді по всьому об'єму виробу. Шар

металу зі зміненим складом отримав назву дифузійний шар, чи дифузійна зона. Присутність цієї зони можна виявити методами макро- та мікроаналізів.

В промисловості знайшли застосування багато методів ХТО, які розрізняються агрегатним станом та хімічним складом активного середовища, технологічними особливостями виконання. Найбільше розповсюдження отримали цементація, азотування та деякі інші методи ХТО.

При цементації відбувається насичення поверхні сталі вуглецем при температурі 900-950 °C на протязі кількох годин. Товщина дифузійного шару залежно від призначення виробів та хімічного складу сталі ходить в межах 0,5-2,0 мм. Концентрація вуглецю на поверхні досягає 0,9-1,1 %. Структура шару визначається швидкістю охолодження після цементації з наступною термічною обробкою. Після повільного охолодження цементований) складається з кількох зон: заевтектоїдної, евтектоїдної, доевтектоїдної. За глибину цементованого шару приймають суму заевтектоїдної, евтектоїдної та половини доевтектоїдної зони.

Зміцнення цементованого шару може бути досягнуто наступною термічною обробкою: гартуванням та відпуском. Гартування повинно не тільки підвищити міцність поверхневого шару, але й виправити структуру перегріву, що може виникнути в сталі після багатогоденної витримки при температурах цементації. Після проведення термообробки на поверхні формується мартенситна структура (з залишковим аустенітом та карбідами) з твердістю 58-62 HRC.

При операції азотування йде насичення поверхні сталевих виробів азотом, що приводить до виникнення на поверхні наступних фаз: α -твердого розчину азоту в залізі (азотистий ферит), β – розчину азоту в аустеніті (азотистий аустеніт), γ – фази перемінного складу з ГЦК

решіткою (цій фазі відповідає формула FeN) та ε -фаза з ГГТУ решіткою та широкою зоною гомогенності. Найбільш поширене азотування в середовищі аміаку при температурах 500-600 °C. Висока твердість поверхні досягається при азотуванні спеціальних сталей – нітралоїв, які мають в своєму складі хімічні елементи з великою спорідненістю до азоту (хром, молібден, алюміній). Поверхневий шар сталі після азотування має високу твердість, яка може досягати HV 1000-1200, що суттєво перевищує твердість після цементації. Підвищення температури азотування призводить до зниження твердості азотованого шару, що обумовлює коагуляцію нітридів. Азотування є кінцевою термічною обробкою.

При нітроцементації проходить насичення поверхні сталевих виробів вуглецем та азотом. Нітроцементация застосовується для підвищення поверхневої твердості та зносостійкості сталевих виробів. Кінцева мікроструктура нітроцементованого шару після гартування складається з тонкого шару карбонітридів $\text{Fe}_2(\text{N,C})$, $\text{Fe}_3(\text{N,C})$ на поверхні, після якого розташований шар азотистого мартенситу.

При боруванні проходить насичення поверхні металів та сплавів бором. Поверхня металу після цієї операції складається з боридів заліза та твердого розчину бору в залізі, товщиною 0,1-0,2 мм. Бориди заліза мають характерну голчасту будову. На поверхні розташований борид FeB , а під ним борид Fe_2B . Твердість боридів може досягати, у залежності від хімічного складу сталі, що обробляється, НУ 2000. Це забезпечує дуже велику зносостійкість її при абразивному зношуванні та корозійну стійкість поверхні.

Температури борування 900-1050 °C, час витримки 2-6 годин. Виконують борування частіше всього в порошкових сумішах на основі карбіду бору чи електролізом розплаву бури.

При насиченні металів та сплавів титаном, хромом та іншими елементами на поверхні можуть виникати дифузійні шари різного фазового складу. При обробці технічного заліза та сталей із вмістом вуглецю не більше 0,2-0,3 % дифузійний шар складається в основному з твердого розчину титана (або хрому чи іншого елемента) в залізі. При більшому вмісті вуглецю на поверхні виникають карбідні фази перехідних металів з твердістю, яка може досягати НУ 4000 (для карбіду титана). Висока твердість карбідів підвищує стійкість інструмента, оснастки та інших виробів, тверді розчини хрому та інших металів в залізі мають високу корозійну стійкість.

Будову карбідних шарів виявляють послідовним травленням реактивом Мураками та 3 %-вим спиртовим розчином азотної кислоти. Для карбідних шарів характерно кілька зон, які розташовані послідовно від поверхні до основного металу. Наприклад, при хромуванні карбідний шар складається з зони рівноважних та зони стовпчастих кристалів фази Cr_7C_3 , та стовпчастих кристалів фази Cr_2 з C_6 , а також зони σ -фази.

Найбільше поширення здобули методи дифузійної металізації з використанням галоїдних сполук титану, хрому та інших металів.

Вихідними компонентами можуть бути галоїдні сполуки, а також порошки перехідних металів з домішками хлористого амонію тощо. Температури насичення складають 950-1050 °C та час витримки 2-6 годин.

5.7.2. Завдання

Замалювати мікроструктури сталей після термічної та хіміко-термічної обробок. Проаналізувати замальовані мікроструктури, зробити висновки про будову термічно оброблених сталей та дифузійних шарів після різних методів-термічної та хіміко-термічної обробки.

5.8. Тема: Антифрикційні сплави

Мета: вивчити мікроструктуру типових підшипникових сплавів.

5.8.1. Короткі теоретичні відомості

Антифрикційні сплави відносяться до матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя, які характеризуються значною зносостійкістю і достатньою міцністю, доброю припрацьовуваністю, корозійною стійкістю, відсутністю схоплювання з контактуючою поверхнею. До антифрикційних сплавів відносяться литі матеріали: бабіти, бронзи, латуні, антифрикційні чавуни і сталі (мідяна та графітізована сталь), деякі сплави на основі алюмінію та ін. За структурою литі антифрикційні сплави поділяють на матеріали в яких: у відносно м'якій основі розташовані більш тверді включення інтерметалідних сполук (наприклад: олов'янистий бабіт, алюмінієва та олов'яниста бронза); в більш міцній основі твердого розчину розташовані включення м'якої металічної структурної складової (наприклад: свинцеві бронзи, сплави на основі алюмінію, що містять олово, свинець і кадмій), яка служить твердою змазкою в процесі експлуатації.

Антифрикційні сплави застосовуються для виготовлення деталей, які працюють на стирання: підшипників і втулок різних механізмів, поршневих кілець, черв'ячних коліс, тощо. Підшипниковими називаються сплави, які використовуються для виготовлення вкладишів підшипників ковзання. Як підшипникові сплави в основному використовують бронзи, чавуни та бабіти.

Умови виготовлення і роботи підшипникових сплавів висувають ряд вимог до властивостей матеріалу, який повинен витримувати достатній

питомий тиск, його коефіцієнт тертя із сталевою поверхнею має бути невеликим, щоб не викликати сильного зносу валу.

Підшипникові сплави повинні мати високу корозійну стійкість, невисоку температуру плавлення для зручності заливки, хорошу зчіплюваність зі сталевою основою, високу ударну в'язкість у випадку роботи при ударних навантаженнях.

Залежно від елемента, який є основою сплаву, розрізняють олов'янисті і свинцевисті бабіти, а також алюмінієві і цинкові підшипникові сплави.

Бабіти є легкоплавкими підшипниковими сплавами і задовольняють цим вимогам. Вони мають низький коефіцієнт тертя при роботі в парі із сталевим валом і добре до нього припрацьовуються. У структурі цих сплавів є мікрокапіляри, які забезпечують легкий доступ змазки до поверхонь, що труться. Це обумовлено гетерогенною структурою бабітів, яка складається з м'якої основи та твердих включень. М'яка основа забезпечує достатню припрацьовуваність підшипника до вала, тверді кристали, які виступають над поверхнею, є опорними для частин, які труться і сприймають на себе навантаження, що дозволяє одержати високу зносостійкість сталі. Мікрорельєф, який утворюється в результаті стирання м'якої основи, забезпечує добру подачу змазки до поверхонь тертя та її рівномірне розподілення.

Олов'янисті бабіти (Б83, Б89) є сплавами олова з сурьмою 7,5-12,0 % і міді 2,5-6,5 %. Сурьма вводиться для утворення твердих включень β -фази (твердий розчин на основі сполуки SnSb). Мідь додають для запобігання ліквіації, яка виникає при литті внаслідок різниці густини основних компонентів: важкого олова і більш легкої сурьми. При кристалізації сплаву в першу чергу утворюється каркас SnSb, який має голчасту форму, і забезпечує рівномірний розподіл β -фази по всьому об'єму.

Мікроструктура бабіту Б83 (11 % Sb, 6 % Cu) має м'яку основу, яка складається з α -твердого розчину (під мікроскопом основний темний фон) легованого міддю і сурьмою, твердих включень β -фази (SnSb - зерна огранованої форми світлого кольору) і сполуки SnSb (голковидної форми світлого кольору).

Олов'янисті бабіти застосовують для більш відповідальних підшипників парових турбін, турбонасосів, дизелів, парових машин і інших високонавантажених установок. Дефіцитність олова призвела до необхідності розробки більш економічних бабітів. Такими стали свинцевисті бабіти, які дуже широко застосовуються в промисловості, хоча зносостійкість їх дещо нижча, ніж у олов'янистих.

Свинцевистий бабіт Б16 вміщує в середньому 16 % олова, 16 % сурьми і 2 % міді. Його структура складається з м'якої евтектики $\alpha(\text{Pb}) + \beta(\text{SnSb})$, твердих кристалів β -фази та голок сполуки Cu_2Sb .

В потрійних бабітах на основі свинцю, що леговані сурьмою 6-18 % і міддю (до 3 %) (Б16) сурьма виділяється у вигляді правильно огранених кристалів, які є твердою складовою сплавів. М'якою складовою є евтектика Pb-Sb. Для усунення ліквіації за густиною, так як і в олов'янистих бабітах, вводять мідь. Вона утворює сполуку Cu_2Sb , яка рівномірно розподіляється в рідкій фазі, збагаченій свинцем і заважає спливанню кристалів сурьми.

Бабіт БС не вміщує дефіцитного олова і являє собою заевтектичний сплав системи Pb-Sb. Його структура складається з первинних кристалів твердого розчину на основі сурьми $\beta(\text{Sb})$ і евтектики $\alpha(\text{Pb}) + \beta(\text{Pb})$. Окрім того, якщо в сплав введена мідь, то утворюються кристали Cu_2Sb . М'якою основою є евтектика, а роль твердої складової виконують первинні кристали $\beta(\text{Sb})$ -фази і сполуки Cu_2Sb .

Найдешевшими є свинцевисті бабіти з кальцієм та натрієм (БКА, БК2). Вони мають більшу зносостійкість і меншу крихкість, ніж бабіти БС.

Оскільки кальцієво-натрієві бабіти добре чинять опір ударним навантаженням, то вони застосовуються для підшипників залізничних вагонів, тепловозів, тракторів. Бабіти БКА належать до четвірної системи Pb-Ca-Na-Al (0,95-1,15 % Ca, 0,7-0,9 % Na, 0,05-0,2 % Al). Їх структура – α -твердий розчин натрію, кальцію та алюмінію у свинці (м'яка основа) і кристали сполуки Pb₃Ca (тверді включення). Властивості бабітів наведені в таблиці 6.

Таблиця 6. Властивості бабітів

Марка бабіту	Густина, г/см ³	T _{пл} , °C	σ_v , МПа	δ , %	Коефіцієнт тертя
Б83	7,5	380	90	6.0	0,005
Біб	9,3	410	80	0,5	0,006
БКА	10,5	470	100	2,51	0,004

В підгрупі цинкових підшипникових сплавів застосовують сплави ЦАМ 10-5, ЦАМ 9-15. Вони поступаються бабітам на олов'янистій основі по пластичності та коефіцієнту тертя і приблизно відповідають свинцевистим бабітам. Мікроструктура ЦАМ 10-5 подана світлими первинними кристалами (З(Al)-фази (тверді включення), розподіленими в подвійній $\varepsilon(\text{CuZn}) + \eta(\text{Zn})$ і потрійній $\varepsilon(\text{CuZn}) + \eta(\text{Zn}) + \beta(\text{Al})$ евтектиках, які виконують роль м'якої основи.

Замінниками олов'янистих і свинцевистих бабітів можуть бути алюмінієві сплави систем: Al-Sb-Pb, Al-Sb-Mo, Al-Ni, Al-Cu-Si.

Для виготовлення вкладишів підшипників, які працюють з підвищеними швидкостями, при підвищених температурах і питомому тиску, застосовуються олов'янисті та свинцевисті бронзи, а також чавуни.

В олов'янистій бронзі (БрОФ6,5-0,4; БрОЦС4-4-4; БрОЦС4-4-2,5) роль м'якої основи виконує а-твердий розчин на основі міді, а роль твердих частинок – включення Cu_3Sn_8 .

Дефіцитність олова призвела до більш широкого застосування свинцевистих бронз (БрСЗО, БрСН6О-2,5). Свинець в бронзі присутній у вигляді м'яких металічних включень у твердій складовій на основі міді. Ці бронзи мають високі антифрикційні властивості, тому що включення м'якого пластичного металу свинцю служать твердою змазкою і забезпечують малий знос контактуючих поверхонь. В структурі бронзи БрСН6О-2,5 зносостійка складова є твердим розчином нікелю в міді. Теплопровідність свинцевистих бронз в кілька разів перевищує теплопровідність олов'янистих.

Для заміни дорогих бабітів і бронз використовують антифрикційні чавуни – сірі ливарні, ковкі і високоміцні на перлітній чи перліто-феритній основі, без вільного цементиту. При підвищених швидкостях ковзання і високому тиску використовують чавуни марок АЧВ з шароподібною формою графіту і перлітною основою. Графіт виконує роль твердої змазки і значно знижує коефіцієнт тертя.

5.8.1. Завдання

Провести мікроструктурний аналіз антифрикційних, використовуючи діаграми стану Sn-Sb, Pb-Sn. Аналізуючи структуру кожного сплаву, встановити особливості будови, які забезпечують їх високі антифрикційні властивості, вказати роль кожної з фаз в структурі бабітів. Структури вивчати при збільшенні мікроскопу у 200-300 разів.

5.9. Тема: Сплави на основі міді

Мета: дослідити і вивчити мікроструктуру сплавів на основі міді.

5.9.1. Короткі теоретичні відомості

Мідь – це метал червоного кольору з густиною $8,94 \text{ г/см}^3$. Кристалічна решітка – Г.Ц.К. з періодом $0,3615 \text{ нм}$. Температура плавлення – 1356 К ($1083 \text{ }^\circ\text{C}$). За електропровідністю мідь поступається тільки сріблу. Електроопір при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ складає $1,68 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Незначна кількість домішок суттєво знижує електропровідність. Механічні властивості чистої міді наступні: σ_B – $220\text{-}240 \text{ МПа}$; $\delta=60\%$; твердість НВ 35; модуль зсуву – $4,24 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Найважливішими групами промислових сплавів є латуні і бронзи. Латунями називаються сплави міді, в яких головним легуючим елементом є цинк. За хімічним складом латуні поділяють на подвійні (Cu-Zn) і багатокомпонентні, які містять крім цинку інші легуючі елементи (алюміній, свинець, олово, кремній та ін.)

Маркують латуні буквою Л і числом, яке показує середній вміст міді (Л68, Л96). Якщо латунь легована додатково іншими елементами, то після букви Л ставлять умовне позначення цих елементів: С – свинець, О – олово, Ж – залізо, А – алюміній, К – кремній, Мц – марганець, Н – нікель. Число після букви вказує на середній вміст кожного легуючого елементу в латуні, крім цинку. Наприклад, ЛАЖ 60-1-1 - це латунь, яка містить 60 % Cu, 1 % Al та 1 % Fe, решта – цинк. Структура та властивості латуней визначаються діаграмою стану Cu-Zn. У твердому стані розчинність цинку в міді досить велика і досягає 39 % при температурі $454 \text{ }^\circ\text{C}$ з утворенням α -твердого розчину, який має гранецентровану кубічну решітку. При

зниженні температури розчинність зменшується і при кімнатній температурі становить 35 %. При збільшенні вмісту цинку в сплавах системи Cu-Zn протікає п'ять перитектичних перетворень, внаслідок чого утворюються фази: β (CuZn), γ (Cu₅Zn₈), δ (CuZn₃) та інші, які являються електронними сполуками. При високих температурах β -фаза має неупорядковане розташування атомів міді і цинку у решітці сполуки CuZn і характеризується високою пластичністю. При температурах нижче 727-741 К (454-468 °C) β -фаза стає упорядкованою і позначається β' . Поява в структурі упорядкованої β' -фази приводить до падіння пластичності (при вмісті цинку більше 39 %), а при повній зміні β -фази на β' -фазу – до зниження часового опору розриву, яке спостерігається в сплавах, що містять більше 47-50 % цинку. Внаслідок цього широке практичне використання отримали сплави, які містять до 47 % Zn. Однофазні β -Сплави з вмістом цинку близько 50 % використовуються як основа сплавів з ефектом пам'яті форми та надпружності.

За структурою латуні розділяють на однофазні α і двофазні ($\alpha+\beta$) латуні. При вмісті цинку до 39 % латунь є однофазною. В литому стані однофазні латуні мають дендритну структуру, в якій центральні ділянки - світлі, збагачені міддю, а периферійні, темні – збагачені цинком. Після деформації та відпалу відбувається вирівнювання хімічного складу твердого розчину і зерна отримують поліедричну форму. У разі проходження процесу рекристалізації після деформації отримується типова поліедрична структура з великою кількістю двійників відпалу. В структурі двофазної латуні поряд з зернами α -твердого розчину містяться кристали β' -фази.

Властивості латуней залежать від їх структури і вмісту цинку. Однофазні латуні мають високу пластичність, вона найбільша у сплавів з 30-32 % Zn (Л68, Л70). Латуні з більш низьким вмістом цинку Л80, Л90,

які називають томпаками, поступаються латуням Л68 і Л70 у пластичності, але перевищують їх в електро- і теплопровідності, корозійній стійкості. Однофазні α -латуні легко піддаються гарячій та холодній обробці тиском. Холодна деформація приводить до суттєвого підвищення міцності латуней при одночасному різкому зниженню пластичності. Відпал деформованої латуні при температурах вище 400 °С знімає наклеп. Двофазні латуні (Л60, Л59) менш пластичні, але більш стійкі проти зношування ніж мідні за рахунок β' -твердої фази, як правило, піддають гарячій обробці тиском.

На властивості латуней значно впливають домішки і додаткове легування. Найбільш шкідливими домішками є вісмут і свинець, які утворюють в сплавах легкоплавкі евтектики по межах зерен, що призводить до червоноламкості сплавів.

Крім того вісмут, як крихкий метал, викликає явище холодноламкості в мідяних сплавах.

В двофазних латунях шкідлива дія свинцю послаблюється в результаті проходження фазового перетворення $\alpha \rightleftharpoons \beta$ при нагріванні і охолодженні. Свинець опиняється в середині зерен α -фази, а не по границях, внаслідок того, що α -фаза при фазовій перекристалізації утворюється на включеннях свинцю як на зародках. В деяких двофазних латунях свинець вводять спеціально для покращення антифрикційних властивостей і обробки різанням (ЛС74-3, ЛС63-3, ЛС60-1, ЛС59-1). Міцність при цьому знижується. Додавання алюмінію, олова, нікелю, марганцю ефективно підвищує твердість, границю міцності латуней, корозійну стійкість, технологічні властивості (ЛО 62-1, ЛН 65-5, ЛМЦ 58-2). Додатково латуні легують іншими елементами: залізом, яке сприяє подрібненню зерна, кремнієм. Кременисті латуні мають високі механічні та антифрикційні властивості, легко обробляються тиском, характеризуються високою рідкоплинністю (ЛК 80-3).

Завдяки своїм цінним властивостям латуні широко застосовуються для виготовлення фасонного литва, корозійностійких деталей в загальному і морському машинобудуванні: втулок, шестерен, підшипників, гайок, гвинтів, арматури тощо.

Бронзами називають сплави міді з такими елементами як Sn, Al, Pb, Be, Mn та ін., виключаючи цинк та нікель. Назва бронзи визначається основним легуючим компонентом у складі сплаву. Наприклад, сплав міді з оловом називають олов'янистою бронзою, міді з алюмінієм – алюмінієвою бронзою.

Бронзи маркують буквами Бр, за якими йдуть букви і числа, які позначають назву і вміст у відсотках легуючих елементів. Так, бронза марки БрАЖН 11-6-6 містить 11 % Al, 6 % Pb, 6 % Ni.

Легуючі елементи і їх кількість визначають механічні і технологічні властивості бронз.

Широке застосування в промисловості одержали олов'янисті бронзи: подвійні сплави міді з оловом і багатокomпонентні, які містять, крім міді і олова, домішки свинцю, фосфору, нікелю і інших елементів. В сплавах системи Cu-Sn розвивається значна внутридендритна ліквіація, внаслідок чого у виробничих умовах нерівноважна фаза з'являється при концентраціях більше 6-8 %, замість 13,5 % за діаграмою стану. В залежності від вмісту Sn подвійні олов'янисті бронзи по мікроструктурі діляться на одно і двофазні. До числа однофазних сплавів відносяться бронзи з вмістом до 6-7 % Sn. їх структура визначається твердим а-розчином олова в міді, при цьому мідь концентрується переважно у центральних темних ділянках гілок дендритів, а олово – у вигляді світлих ділянок біля поверхні кристалів. Така хімічна неоднорідність усувається гомогенізаційним відпалом, після якого структура являє собою рівноважні зерна α -розчину.

Структура литих двофазних сплавів, що містять більше 7 % Sn, складається з первинних кристалів α -розчину змінної концентрації і евтектоїду ($\alpha+\delta$), де δ -фаза є електронною сполукою $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

З появою в структурі крихкої δ -фази пластичність бронз знижується і одночасно підвищується їх стійкість проти зношування. Тому олов'яністі бронзи з достатньо високим вмістом евтектоїду є відмінним антифрикційним матеріалом і застосовуються для виготовлення вкладишів підшипників та черв'ячних коліс. Для підвищення антифрикційних властивостей до цих сплавів додають свинець і фосфор (БрОФ 4-0,2, БрОФ 6,5-0,15, БрОЦС 6-6-3).

Широкий інтервал кристалізації сплавів міді з оловом є причиною їх невисокої рідкоплинності і значної пористості відливок. При легуванні цинком і фосфором подвійні бронзи стають достатньо рідкоплинними, добре заповнюють складні форми, мають дуже малу об'ємну усадку при твердінні і тому добре передають форму виробу. Це дозволяє використовувати її для виготовлення художнього литва. Легування цинком підвищує до того ж міцність бронз. Введення в сплави нікелю (БрОЦН 5-2-5) сприяє збільшенню міцності при кімнатній температурі, поліпшенню пластичності, деформованості бронз, одержанню щільних виливків.

Останнім часом дорогі олов'яністі бронзи замінюють алюмінієвими, які не тільки не поступаються олов'янистим, але й за деякими властивостями перевищують їх. Застосовують алюмінієві бронзи подвійні і леговані.

Мікроструктура однофазних бронз складається з α -твердого розчину алюмінію в міді. В литому стані кристали розчину мають дендритну будову, а у відпаленому – поліедричну. При вмісті алюмінію більше 9,4 % бронза є двофазною. Її структура складається з кристалів α -фази (світлі зерна) і евтектоїду ($\alpha+\gamma_2$) (темне строкате поле), де фаза γ_2 – електронна

сполука Cu_9Al_4 . Евтектоїд утворюється в результаті розпаду β -твердого розчину при 565°C .

Сплави з α -структурою (однофазні) добре обробляються тиском при низьких і високих температурах. Фаза γ_2 має високу твердість і незначну пластичність, тому з появою в структурі евтектоїду міцність сплавів різко зростає, а пластичність починає знижуватись. По цій причині двофазні бронзи обробляють тиском в гарячому стані. Максимальна міцність досягається в сплавах з 10-11 % Al. Підвищенню пластичності сприяє нормалізація з ($600-700^\circ\text{C}$), після якої зменшується кількість евтектоїду в сплаві.

Міцність двофазних бронз можна додатково підвищувати термічною обробкою – гартуванням і наступним відпуском. Під час прискореного охолодження p -твердий розчин перетворюється в мартенситу γ' -фази. Механічні властивості загартованих бронз змінюються наступним відпуском, в результаті якого має місце розпад γ' -фази з утворенням дисперсного евтектоїду ($\alpha+\gamma_2$). Міняючи температуру і тривалість відпуску, можна одержувати потрібні механічні властивості готового виробу.

Ефект зміцнення алюмінієвих бронз підвищується в результаті введення в них заліза та нікелю, які утворюють високодисперсні інтерметалідні фази. Залізо ефективно подрібнює зерно при кристалізації та рекристалізації, уповільнює процес евтектоїдного розпаду, внаслідок чого відбувається подрібнення кристалів γ_2 -фази і знижується схильність до крихкості. Нікель значно зменшує розчинність алюмінію в міді при зниженні температури, тому сплави міді леговані Al і Ni після термічної обробки, яка включає гартування та відпуск, зміцнюються дисперсними виділеннями інтерметалідів Ni_3Al та NiAl . Так, твердість бронз БрАЖМ 10-4-4 після гартування від 980°C і відпуску при 400°C досягає 400 МПа.

Нікель також покращує корозійну стійкість бронз, підвищує температуру рекристалізації та жароміцність. Але більшість алюмінієвих бронз відноситься до сплавів, які не зміцнюються термічною обробкою.

Підвищення твердості, міцності, корозійної стійкості та антифрикційних властивостей відбувається при введенні в сплави марганцю (БрАМЦ 10-2).

У залежності від структури і властивостей алюмінієві бронзи використовують як деформовані – для одержання листів, прутків тощо, і як ливарні – для виробництва: виливок. Спеціальні алюмінієві бронзи використовуються для виготовленні деталей машинобудування, які працюють на тертя (втулки, шестерні, черв'ячні передачі, частини насосів і турбін).

Для виготовлення відповідальних підшипників ковзання широко застосовуються свинцевисті бронзи, які мають добрі антифрикційні властивості. В подвійних свинцевистих бронзах (БрС 30) м'який свинець кристалізується в останню чергу у складі евтектики по границях зерен міді. Така гетерогенна структура являється доброю передумовою для забезпечення антифрикційних властивостей.

Виключно цінними якостями характеризуються берилієві бронзи (БрБ 2, БрБНТ 1,7). Розчинність берилію в міді в твердому стані зменшується при зниженні температури, що забезпечує можливість їх термічного зміцнення. Після гартування з температур, що відповідають області існування α -твердого розчину, структура берилієвої бронзи являє собою пересичений твердий розчин, який має високу пластичність, достатню для холодної обробки тиском. Розпад пересиченого твердого розчину в процесі Старіння з утворенням дисперсних виділень метастабільної γ -фази, а потім стабільної γ -фази на основі інтерметаліду CuBe призводить до зміцнення сплаву, але зниження пластичності. Після

термічної обробки ці бронзи мають границі міцності на рівні 1150-1250 МПа, високу пружність, задовільний опір повзучості, а також добру корозійну стійкість і високу твердість. Крім того берилієві бронзи відрізняються малою схильністю до холодноламкості і можуть працювати в інтервалі температур від -200 до +250 °С. Їх використовують для виготовлення деталей відповідального призначення: пружин та пружних елементів електронних приладів, мембран, кабелів, інструменту, що працює у вибухонебезпечних умовах, оскільки берилієві бронзи не дають іскри при ударі. Недоліком цих бронз є їх висока вартість, дефіцитність і токсичність берилію. Властивості типових бінарних мідних сплавів наведено у таблиці 7.

Таблиця 7. Властивості типових бінарних мідних сплавів

Марка сплаву	Механічні властивості			Електропровідність	Стан
	σ_B , МПа	δ , %	НВ		
Л70	680	3	180	0,065	холоднокатаний
БрО10	275	3-10	70-80		литий
БрА7	860	3	250	0,087	холоднокатаний
БрС30	80	6	25		литий
БрБ2	1250	3	370	0,07	після гартування та старіння

5.9.2. Завдання

Використовуючи діаграми стану Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Al, Cu-Be, Cu-Pb, розглянута характер фазових перетворень в сплавах, які мають практичне застосування. Провести мікроструктурний аналіз α і $(\alpha+\beta)$ – латуней у литому і відпаленому стані. Провести мікроструктурний аналіз одно- і двофазних олов'янистих та алюмінієвих бронз в литому і відпаленому стані, свинцевистої бронзи – у литому стані, берилієвої бронзи – після гартування і старіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підруч. / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
2. Гольчевская Н. Ю. Материаловедение : учеб. пособие / Н. Ю. Гольчевская, В. Ф. Гольчевский. – Иркутск : ИрГТУ, 2008. – 428 с.
3. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: посіб. / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко та ін. – Київ : Либідь, 2002. – 328 с.
4. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів / В. В. Атаманюк. – Вінниця : ДОВ «Вінниця» 2003. – 371 с.
5. Пахолук А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: підруч. / А. П. Пахолук, О. А. Пахолук. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
6. Сич А. М. Основи матеріалознавства: посіб. / А. М. Сич, П. Г. Нагорний. – Київ : Вид.-поліграф. центр «Київський ун-т», 2003. – 164 с.
7. Сажин В. Б. Иллюстрации к началам курса «Основы материаловедения» : учеб. пособие / В. Б. Сажин. – М. : ТЕИС, 2005. – 156 с.
8. Тетеревков А. И. Оборудование заводов неорганических веществ и основы проектирования: учеб. пособие / А. И. Тетеревков, В. В. Печковский. – Минск : Высш. шк., 1981. – 335 с.
9. Хускутдинов В. А. Оборудование производств неорганических веществ: учеб. пособие / В. А. Хускутдинов, Р. С. Сайфулин, И. Г. Хабибуллин. – Л. : Химия, 1987. – 248 с.

10. Попов А. Н. Основы материаловедения: учеб. пособие / А. Н. Попов, В. П. Казаченко. – Изд-во : Гревцова, 2010. – 176 с.
11. Бобович Б. Б. Неметаллические конструкционные материалы: учеб. пособие / Б. Б. Бобович. – Изд-во : МГИУ, 2009. – 384 с.
12. Адаскин А. М. материаловедение и технология материалов / А. М. Адаскин, В. М. Зуев. – Изд.-во : Форум, 2010. – 336 с.
13. Баженов В. К., Материаловедение: учеб. пособие / В. К. Баженов, Т. И. Милых. – Москва : РГОТУПС, 2003. – 101 с.
14. Жуков А. П. Основы материаловедения: учеб. пособие / А.П. Жуков. – М. : РХТУ, 1999. – 155 с.